Postverlagsort Leipzig

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

HERAUSGEGEBEN VON

ARNOLD BERLINER

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON HANS SPEMANN IN FREIBURG I. BR.

ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

UND

ORGAN DER KAISER WILHELM-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN

VERLAG VON JULIUS SPRINGER IN BERLIN W 9

HEFT 11 (SEITE 177—192) 16. MÄRZ 1928 16. JAHRGANG

INHALT:

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

erscheinen wöchentlich und können im In- und Auslande durch jede Sortimentsbuchhandlung, jede Postanstalt oder den unterzeichneten Verlag bezogen werden. Preis vierteljährlich für das In- und Ausland RM 9.—. Hierzu tritt bei direkter Zustellung durch den Verlag das Porto bzw. beim Bezuge durch die Post die postalische Bestellgebühr. Einzelheft RM 1.— zuzüglich Porto.

Manuskripte, Bücher usw. an

Die Naturwissenschaften, Berlin W 9, Linkstr. 23/24, erbeten.

Preis der Inland-Anzeigen: 1/1 Seite RM 150.—; Millimeter-Zeile RM 0.35. Zahlbar zum amtlichen Berliner Dollarkurs am Tage des Zahlungseinganges. Für Vorzugsseiten besondere Vereinbarung. — Bei Wiederholungen Nachlaß.

Auslands-Anzeigenpreise werden auf direkte Anfrage mitgeteilt.

Klischee-Rücksendungen erfolgen zu Lasten des Inserenten.

Verlagsbuchhandlung Julius Springer, Berlin W 9, Linkstr. 23/24

Fernspr.: Amt Kurfürst 6050-53 u. 6326-28 sowie Amt Nollendorf 755-57

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

16. Jahrgang | 16. März 1928 | Heft 11

Über den Ursprung der Nebellinien.

Von W. GROTRIAN, Berlin-Potsdam.

Die Einteilung der Nebel.

Die kosmischen Gebilde, die in der Astrophysik als Nebel bezeichnet werden, zerfallen nach der in neuerer Zeit üblichen Art der Einteilung je nach ihrer Stellung zur Milchstraße in zwei Gruppen[1]: 1. die galaktischen Nebel, 2. die außergalaktischen Nebel. Zu der zweiten Gruppe gehören vor allem die Spiralnebel. Sie sind wahrscheinlich Anhäufungen von vielen Sternen, die in sehr großen Entfernungen (die Entfernung des Andromedanebels ist 850 000 Lichtjahre) außerhalb unseres Milchstraßensystems liegen und selbst wieder diesem ähnliche Gebilde zu sein scheinen. Die Spiralnebel tragen also den Namen „Nebel" eigentlich zu Unrecht. Denn unter einem Nebel wird man sich immer ein gasförmiges oder aus kleinen Partikeln zusammengesetztes Gebilde vorstellen. Die Spiralnebel und auch die sonstigen außergalaktischen Nebel bestehen aber, wie gesagt, aus vielen einzelnen Sternen, und wenn auch unter diesen richtige nebelartige Gebilde vorkommen mögen, so ist doch die Bezeichnung „Nebel" für sie ebenso unangebracht, wie wenn wir den zum Milchstraßensystem gehörigen Komplex von kosmischen Gebilden als einen Nebel bezeichnen wollten. Nebel dagegen in dem durch das Wort nahegelegten Sinne sind die zur Gruppe 1 gehörigen Gebilde, und die Mitteilungen, die hier gemacht werden sollen, beziehen sich auch lediglich auf Nebel dieser Gruppe.

Einiges über die galaktischen Nebel.

Die galaktischen Nebel, die ausweislich ihrer Parallaxe und ihrer Verteilung am Himmel zum System der Milchstraße gehören, sind entweder gasförmig oder sie bestehen aus kosmischem Staub, also aus Ansammlungen von Teilchen, deren Durchmesser sicher größer ist als der der Atome oder Moleküle. Sie werden ihrem Aussehen nach wieder in 2 Untergruppen geteilt: die diffusen oder unregelmäßigen Nebel und die planetarischen Nebel. Die diffusen Nebel, deren Prototyp der Orionnebel ist, haben ganz unregelmäßige Gestalt, unscharfe Begrenzung und im allgemeinen sehr große Dimensionen. Sie sind entweder hell oder dunkel, oder es wechseln in ihnen, wie z. B. im Orionnebel, helle und dunkle Partien miteinander ab. Die planetarischen Nebel verdanken ihren Namen dem ganz äußerlichen Umstande, daß sie im Fernrohr als Scheiben erscheinen und ähnlich wie die Planeten aussehen, obwohl sie natürlich mit diesen gar nichts zu tun haben. Ihre Gestalt ist kreisförmig oder schwach elliptisch oder ringförmig oder noch komplizierter, aber fast immer haben sie relativ scharf begrenzte Ränder. Als Prototyp der planetarischen Nebel kann der Ringnebel in der Leier bezeichnet werden. Die planetarischen Nebel sind relativ seltene Gebilde. Im ganzen sind bisher etwa 150 bekannt, während die Gesamtzahl der Spiralnebel auf etwa 1 Million geschätzt wird.

Charakteristisch für die galaktischen Nebel ist, daß sich in ihrer Nähe oder in ihnen — bei den planetarischen Nebeln sogar genau in der Mitte — Sterne befinden, die ihrer spektroskopischen Klassifikation nach, etwa in der Hälfte der beobachteten Fälle, als B- oder als O- bzw. Wolf-Rayet-Sterne zu bezeichnen sind. Dies sind die heißesten Sterne, die wir kennen. Die Temperatur wird für die B-Sterne auf 17 000°, für die O-Sterne auf 20 000 bis 30 000° oder gar noch höher geschätzt. Die B-Sterne haben ein kontinuierliches Spektrum, in dem vor allem die Wasserstofflinien als Absorptionslinien enthalten sind. Die Spektren der O-Sterne sind je nach der Unterklasse, zu der die Sterne gehören, etwas verschieden. Entweder enthalten sie helle verwaschene Banden, deren Wellenlängen sich nicht genau bestimmen lassen, aber doch in vielen Fällen annähernd mit bekannten Linien des Wasserstoffs (Balmerlinien) und des neutralen und ionisierten Heliums zusammenfallen (z. B. $\lambda = 4686$ ÅE., erstes Glied der „Fowler"-Serie $\nu = 4\,R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{m^2}\right)$.) Andere O-Sterne haben ein kontinuierliches Spektrum, dem entweder helle Banden überlagert sind oder in dem gelegentlich auch dunkle Absorptionslinien auftreten. Die Intensität des kontinuierlichen Spektrums wächst stark nach dem Ultravioletten zu und hat ihr Maximum bei den kürzesten Wellenlängen, die von der Erdatmosphäre durchgelassen werden, noch nicht erreicht. Wo es liegt, läßt sich also nicht sagen, immerhin kann man aus diesem Intensitätsanstieg schätzungsweise die Temperatur bestimmen und kommt dabei zu den oben angegebenen Werten.

Die von diesen B- oder O-Sternen ausgehende Strahlung ist nun, wie aus den Untersuchungen von HUBBLE mit Sicherheit hervorgeht, die anregende Quelle für das Leuchten der sie umgebenden Nebel. HUBBLE fand qualitative und quantitative Beziehungen zwischen der Helligkeit dieser Sterne und der Helligkeit der sie umgebenden oder in ihrer Nähe stehenden Nebel. Er sah darin eine Bestätigung der kurz vor ihm von RUSSELL aufgestellten Hypothese, daß die Emission der Nebel durch eine von diesen Sternen ausgehende Strah-

[1] Wegen der genaueren Differenzierung dieser Gruppen siehe Naturwissenschaften 15, 855. 1927.

lung angeregt wird, die entweder eine sehr kurzwellige Wellenstrahlung oder eine Corpuscularstrahlung sein könnte. Daß es sich dabei nicht um eine einfache Reflexion oder Zerstreuung des von diesen Sternen ausgehenden Lichtes an der Nebelmaterie handeln kann, geht unweigerlich daraus hervor, daß das Spektrum der Nebel völlig verschieden ist von dem der anregenden Sterne. Vielleicht könnte das kontinuierliche Spektrum, das gelegentlich in den Nebeln auftritt und in seiner Intensitätsverteilung ähnlich dem der anregenden Sterne ist, so gedeutet werden, sicher aber nicht die Teile des Spektrums, die hauptsächlich die Helligkeit der Nebel bestimmen.

Das Spektrum der galaktischen Nebel und Nebulium-Hypothese.

Das Spektrum der Nebel ist verschieden, je nach dem Spektraltypus oder, was dasselbe besagt, der Temperatur des anregenden Sternes. Ist der Stern vom Typus B_1, was der niedrigsten bei den anregenden Sternen vorkommenden Temperatur entspricht, so haben die Nebel nach SLIPHER ein kontinuierliches Spektrum mit Absorptionslinien. Ist die Temperatur des Sternes etwas höher, dem Typus B_0 entsprechend, so treten, dem kontinuierlichen Spektrum überlagert, helle Emissionslinien auf. Hat schließlich der anregende Stern die höchste Temperatur, dem Typus O entsprechend, so ist das kontinuierliche Spektrum verschwunden, und es bleibt nur das Spektrum mit hellen, scharfen Emissionslinien übrig. Dies Spektrum ist es, das uns besonders interessiert. Die in ihm auftretenden Linien lassen sich zum Teil mit bekannten Linien irdischer Elemente identifizieren. Es sind mit relativ großer Intensität die Linien der Balmerserie des Wasserstoffs vorhanden; sie lassen sich gelegentlich bis zu hohen Seriennummern verfolgen, und in einigen Fällen ist auch das kontinuierliche Spektrum, das sich an die Grenze der Balmerserie anschließt, in Emission beobachtet worden. Weiterhin findet man die Linien des neutralen und des ionisierten Heliums, von ersterem sowohl Linien des Ortho- wie des Parheliums, von letzterem nicht nur die bekannte Linie $\lambda = 4686$ der Fowlerserie $\nu = 4\,R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right)$, sondern auch die Linien der Pickeringserie $\nu = 4\,R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{m^2}\right)$. Schließlich gehören noch einige schwächere Linien den Funkenspektren der Kohle, des Sauerstoffs und des Stickstoffs an, darunter insbesondere die bekannte Linie des Kohle-Funkenspektrums (C II) $\lambda = 4267{,}14$ ($\nu = 3\,d - 4\,f$, erstes Glied der Bergmannserie). Außerdem sind aber noch andere, zum Teil sehr starke Linien vorhanden, die bisher in keinem mit irdischen Lichtquellen erzeugten Spektrum gefunden werden konnten. Die stärksten von diesen sind zwei grüne Linien mit den Wellenlängen $\lambda = 5006{,}84$ und $4958{,}91$. Die Entdeckung dieser völlig neuen Linien, die in fast allen Nebeln mit Emissionsspektrum dominierend auftreten, führte zu der Hypothese, daß in den Nebeln ein auf der Erde unbekanntes Element vorhanden sein müsse, dem der Namen „Nebulium" gegeben wurde. Die beiden starken grünen Linien wurden dem entsprechend mit N_1 und N_2 bezeichnet.

In Fig. 1 reproduzieren wir die Spektren einiger Nebel mit Emissionslinien. Auf der linken Seite ist die Katalognummer des betreffenden Nebels oder der Name angegeben[1], oben stehen die Wellenlängen der stärksten Linien und die Zuordnung zu H, He oder Nebulium (N_1, N_2 und Neb.). Wie man sieht, sind die Linien N_1 und N_2 in allen Nebeln sehr stark. Daß sie weder dem Wasserstoff noch dem Helium zugehören können, geht schon aus Fig. 1 deutlich hervor. Denn das Intensitätsverhältnis zwischen H_β oder $\lambda = 4686$ einerseits und den Linien N_1 und N_2 andererseits ist bei den einzelnen Nebeln völlig verschieden. Dagegen ist das Intensitätsverhältnis $N_1 : N_2$ bei allen Nebeln genau gleich. Das ist von WRIGHT durch sorgfältige Messungen einwandfrei nachgewiesen. Man muß daraus schließen, daß diese Linien denselben Ursprung haben, also demselben Element angehören. Analoges gilt für andere Nebuliumlinien, z. B. die in Fig. 1 im Spektrum des Orionnebels stark vorhandenen ultravioletten Linien $\lambda = 3728{,}91$ und $3726{,}16$. Einige Spektrogramme planetarischer Nebel der Fig. 1, z. B. N. G. C. 2392, 6543, 6826, I. C. 418 zeigen in der Mitte einen schmalen Streifen. Dies ist das Spektrum des Zentralsternes. Man sieht, daß es im wesentlichen kontinuierlich ist und weit ins Ultraviolett ereicht. Die hellen bzw. dunklen Banden sind auf diesen Reproduktionen kaum erkennbar. Man sieht aber deutlich, daß das Spektrum des Kernes völlig verschieden ist von dem der Nebel. In einigen Spektrogrammen, vor allem von N. G. C. 7662 und Orionnebel, ist auch das kontinuierliche Spektrum der Nebel erkennbar mit seiner ebenfalls weit ins Ultraviolette reichenden Intensitätsverteilung.

Bedenken gegen die Nebulium-Hypothese.

Das Auftreten der Nebellinien, die sich bisher keinem Spektrum eines auf der Erde vorkommenden Elementes zuordnen ließen, bildete bis in die neueste Zeit eines der merkwürdigsten und unerklärlichsten Rätsel der Sternenwelt. Man muß bedenken: es ist ein seltener Fall, daß Linien, die in den Spektren der Sterne auftreten, sich ihrer Herkunft nach nicht deuten lassen. Während die Zahl der Linien unbekannten Ursprungs[2] etwa 120 ist, lassen sich Tausende von Linien zweifelsfrei identifizieren mit den Linien bestimmter Elemente auf Grund der Wellenlängenübereinstimmung der Sternlinien mit solchen Linien, die bei Verwendung künstlicher irdischer

[1] N. G. C. bedeutet New General Catalogue, I. C. Nachtragskatalog I zu N. G. C., B. D. Bonner Durchmusterung.

[2] Siehe die Zusammenstellung dieser Linien von F. E. BAXANDALL, Monthly Notices 83, 166. 1923.

Lichtquellen in den Spektren bestimmter Elemente auftreten. Da sich hierbei ergeben hat, daß dieselben Elemente, die wir auf der Erde vorfinden, in nahezu derselben Verteilung auch in den Sternen vorkommen, so ist es aus diesem Grunde schon recht unwahrscheinlich, daß in den Nebeln ein neues Element in solcher Menge vorhanden sein sollte, daß sein Spektrum dominierend in den Nebeln auftreten könnte. Die Nebuliumhypothese erscheint also schon von diesem Gesichtspunkte aus sehr zweifelhaft. Dazu kommt noch, daß die moderne spektroskopische Forschung im Zusammenhange mit der Atomtheorie zu der Erkenntnis geführt hat, daß jedes Element nicht nur *ein* Spektrum besitzt, sondern streng genommen so viele, wie Elektronen in dem betreffenden Atom enthalten sind. Man hat schon seit langer Zeit den Unterschied zwischen Bogen- und Funkenspektrum desselben Elements erkannt, der seine atomphysikalische Deutung darin findet, daß die Bogenlinien vom neutralen Atom, die Funkenlinien von dem einfach positiv geladenen Ion emittiert werden, also dem Atom, das schon ein Elektron durch Ionisation verloren hat. Die neuesten Untersuchungen, insbesondere von MILLIKAN und seinen Mitarbeitern, haben gezeigt, daß man im Vakuumfunken eine Lichtquelle besitzt, in der nicht nur die Spektren der einfach, sondern auch die der zweifach, dreifach, bis etwa siebenfach ionisierten Atome auftreten. Bei diesen extrem starken Ausgangsbedingungen treten dann Linien auf, die in den gewöhnlichen Lichtquellen nicht vorhanden sind. Man sieht also, daß es durchaus nicht richtig ist zu behaupten, daß wir schon alle Linien der auf der Erde vorkommenden Elemente kennen, und diese Feststellung legt die Vermutung nahe, daß auch die in den Nebeln vorkommenden Linien wohlbekannten Elementen zugehören, daß es aber bisher noch nicht gelungen ist, diese Linien in irdischen Lichtquellen zu er-

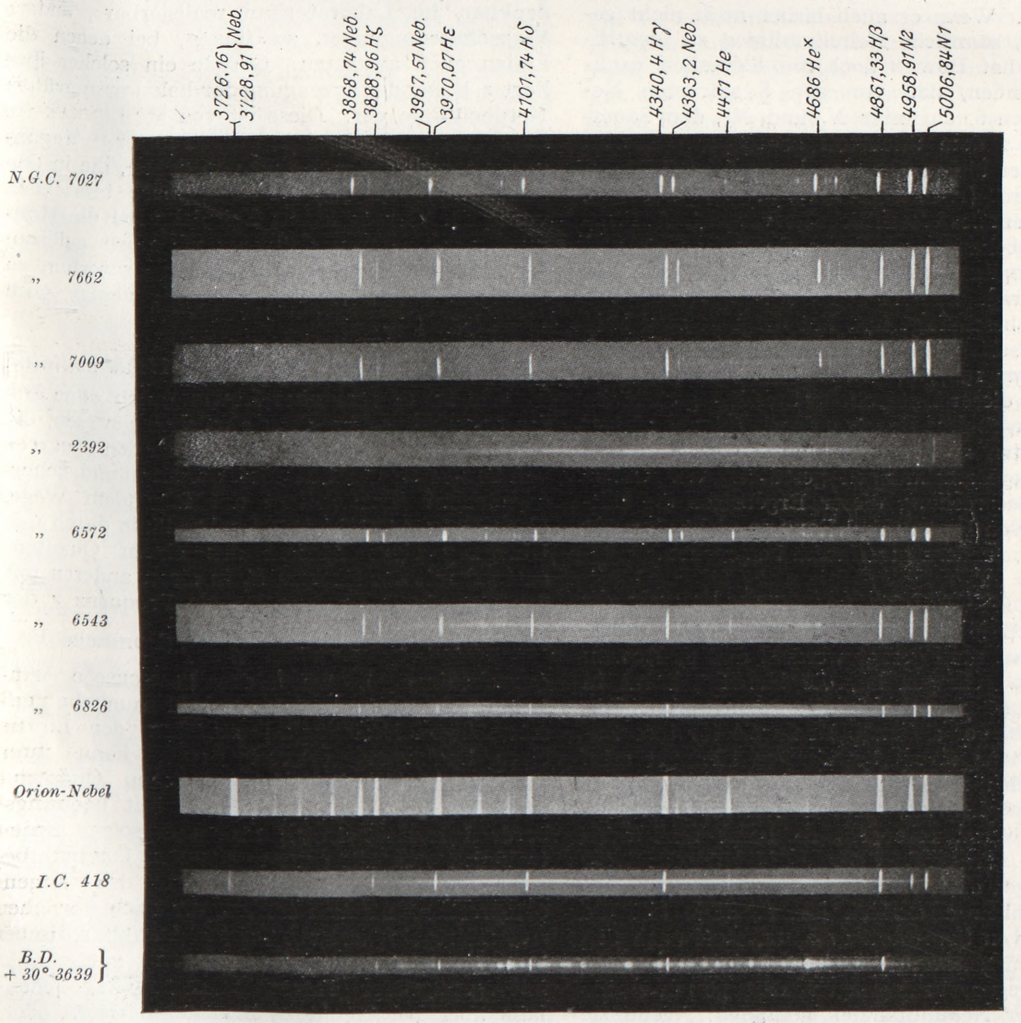


Fig. 1. Die Spektren einiger galaktischer Nebel nach W. H. WRIGHT, Publ. Lick Observ. 13, Tafel 45, 1918.

zeugen. In dieser Vermutung werden wir noch bestärkt durch die Tatsache, daß in den Nebeln die Temperaturen sehr hoch und die Dichten sehr klein sind, und dies sind beides Faktoren, die das Vorhandensein hochionisierter Atome begünstigen.

Die Entdeckung von J. S. Bowen.

Zweifellos, von den soeben skizzierten Überlegungen geleitet, ist es nun in allerletzter Zeit J. S. BOWEN, dem bekannten Mitarbeiter MILLIKANS, gelungen, das Rätsel der Nebuliumlinien zu lösen, und zwar liegt die Lösung ganz in der erwarteten Richtung. In den Spektren der Nebel treten ja nur die Linien der leichtesten Elemente H, He, C, O und N auf. Es lag also nahe, sich zu fragen, ob nicht die Nebuliumlinien dem Spektrum eines dieser oder anderer leichter Elemente zugeordnet werden können. Tatsächlich hat nun BOWEN zeigen können, daß Nebulium nichts anderes ist als ein Gemisch von Stickstoff und Sauerstoff. Wenn es auch bisher noch nicht gelungen ist, sämtliche Nebuliumlinien zu identifizieren, so hat BOWEN doch mit Sicherheit nachweisen können, daß von den 8 stärksten Nebuliumlinien 6, darunter N_1 und N_2, dem Sauerstoff und 2 dem Stickstoff zugehören. BOWEN hat darüber bisher nur eine kurze Mitteilung an die „Nature" (1. Oktober 1927, S. 473) publiziert, aus der aber alles Wesentliche hervorgeht. A. FOWLER, der bekannte englische Astrophysiker und Spektroskopiker, der sich ganz speziell mit den hier in Frage kommenden Funkenspektren von O und N beschäftigt hat, hat dann in zwei bald darauf erschienenen Briefen an die „Nature" (22. Oktober 1927, S. 582 und 29. Oktober 1927, S. 617) zu dieser Entdeckung Stellung genommen und die Ergebnisse BOWENS durch Angabe einiger aus neuesten spektroskopischen Untersuchungen stammende Berechnungen gestützt. Wir wollen bei der Besprechung dieser Ergebnisse die Mitteilungen von BOWEN und FOWLER nicht getrennt behandeln, sondern gemeinsam besprechen.

Gründe für das bisherige Mißlingen der Versuche, die Nebuliumlinien in irdischen Lichtquellen zu erzeugen.

Zunächst muß gesagt werden, daß es BOWEN nicht etwa gelungen ist, die Nebuliumlinien in einer Laboratoriumslichtquelle zu erzeugen. Das würde wohl der sicherste Nachweis für ihre Zugehörigkeit zu einem bestimmten Element sein. Wenn auch nicht behauptet werden soll, daß es völlig unmöglich sei, diese Linien mit irdischen Hilfsmitteln zu erzeugen, so kann man doch schon von vornherein Gründe dafür angeben, die das Gelingen eines solchen Versuches als sehr unwahrscheinlich erscheinen lassen. Man hat die Spektren von Sauerstoff und Stickstoff nach den verschiedensten Methoden bei den denkbar stärksten Anregungsbedingungen erzeugt und nie Spuren der Nebuliumlinien gefunden. Wenn sie also trotzdem diesen Elementen zugehören, so müssen es Linien sein, die nur unter den ganz besonderen, in den Nebeln vorhandenen Bedingungen auftreten. Diese im Laboratorium zu reproduzieren, scheint fast aussichtlos, denn die beiden für die Nebel charakteristischen und wahrscheinlich für die Emission der Linien maßgebenden Faktoren sind: ganz kleine Dichte und ungeheure Ausdehnung des leuchtenden Gases. Wenn es auch mit den Hilfsmitteln der modernen Vakuumtechnik schon möglich ist, sehr kleine Dichten zu erzeugen, so reichen diese doch, wie wir weiter unten noch genauer zeigen werden, an die in den Nebeln vorhandenen noch lange nicht heran. Völlig unüberwindliche Schwierigkeiten stehen außerdem der Erfüllung der zweiten Bedingung entgegen. Trotzdem braucht man es nicht für ausgeschlossen anzusehen, daß es je gelingen wird, die Nebellinien auch im Laboratoriumsversuch zu erzeugen. Denn wenn es auch nicht möglich ist, die Verhältnisse in den Nebeln im Laboratorium wirklich nachzuahmen, so wäre es vielleicht doch denkbar, im Laboratorium realisierbare, andere Versuchsbedingungen zu finden, bei denen die Linien auch auftreten. Gerade ein solcher Fall liegt z. B. bei der Erzeugung der bekannten grünen Nordlichtlinie vor. Diese ist von MC LENNAN im Laboratorium beobachtet worden unter Bedingungen, die weit entfernt sind von denen, die in den hohen Schichten der Erdatmosphäre tatsächlich vorliegen. Gerade dieses Beispiel wird die Hoffnung wach halten, daß es doch noch gelingen wird, die Nebellinien auch im Laboratorium zu erzeugen. Bisher ist dies aber, wie gesagt, noch nicht geglückt.

Die Methode zur Identifizierung der Nebuliumlinien.

Wie ist es nun aber BOWEN auch ohne diesen experimentellen Beweis möglich gewesen, die Zugehörigkeit der Nebuliumlinien zu den Spektren von Sauerstoff und Stickstoff darzutun und sicherzu stellen? Das gelingt auf folgendem Wege. Nach BOHR entsteht jede Spektrallinie durch den Übergang eines Atomes aus einem Quantenzustand mit der Energie E_1 in einen anderen mit der Energie E_2, und es ist die Frequenz ν der emittierten Linie $\nu = \frac{E_1 - E_2}{h}$ (BOHRsche Frequenzbedingung), wo h das PLANCKsche Wirkungsquantum bedeutet. Sobald nun die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen den Linien eines Spektrums erforscht sind, kann man daraus die Energien der möglichen Quantenzustände des Atoms berechnen. Mit beobachtbarer Intensität treten aber nur solche Spektrallinien auf, die ganz bestimmten Übergängen zwischen den Quantenzuständen des Atoms entsprechen, nämlich solchen, die nach den sog. Auswahlregeln „erlaubt" sind. Denkbar, unter besonderen Anregungsbedingungen auch wohl mit genügender Intensität erzeugbar, jedenfalls aber bei Kenntnis der Energiewerte oder, wie der Spektroskopiker sagt, der „Terme" nach der BOHRschen Frequenzbedingung genau be-

rechenbar hinsichtlich ihrer Wellenlänge oder Frequenz sind auch solche Linien, die nach den Auswahlregeln „verboten" sind.

Wir wollen diesen letzten Punkt, da er für das Verständnis des Folgenden wichtig ist, in Fig. 2 an einem einfachen Beispiel noch besonders erläutern. Aus der Analyse des Spektrums irgendeines Elementes seien die drei in Fig. 2 mit *1*, *2* und *3* bezeichneten Energiestufen des Atoms bekannt. Nach den Auswahlregeln seien aber nur „erlaubt" und demsprechend als Spektrallinien beobachtet die Übergänge *3* → *2* und *3* → *1*; die Frequenz dieser Linien ist in unserem Energiediagramm den Längen der Strecken *a* und *b* proportional. „Verboten" dagegen sei der gestrichelt eingezeichnete Übergang *2* → *1*, und dementsprechend tritt eine Spektrallinie der Frequenz *c* im Spektrum im allgemeinen nicht auf. Trotzdem läßt sich aber die Frequenz und damit natürlich auch die Wellenlänge der „verbotenen" Linie *c* aus der Differenz der Energiestufen *2* und *1* mit annähernd derselben Genauigkeit berechnen, mit der die Frequenzen bzw. Wellenlängen der Linien *a* und *b* gemessen worden sind.

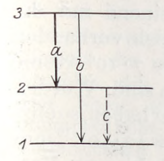


Fig. 2. Niveauschema zur Veranschaulichung „erlaubter" und „verbotener" Übergänge.

Bowens Hypothese: Die Nebuliumlinien entsprechen „verbotenen" Übergängen von metastabilen Anfangszuständen aus.

BOWEN hat sich nun die Frage vorgelegt, ob die Nebuliumlinien nicht gerade solche Linien sein könnten, die zwar, weil sie „verbotenen" Übergängen entsprechen, in den Laboratoriumslichtquellen nicht vorhanden sind, deren Auftreten aber durch die besonderen in den Nebeln vorhandenen Umstände begünstigt wird. Tatsächlich gibt es nun auch eine bestimmte Gruppe von „verbotenen" Linien, deren Auftreten in den Nebeln zu erwarten ist. Das sind die Linien, deren Anfangszustände für die Emission sog. metastabile Zustände der Atome sind. Metastabil nennen wir solche Zustände, deren Energie größer ist als die des Normalzustandes, von denen aus aber nach den Auswahlregeln kein mit Lichtemission verbundener Übergang nach anderen Zuständen kleinerer Energie „erlaubt" ist. Nehmen wir in unserer schematischen Fig. 2 an, daß das Niveau *1* dem Normalzustande des Atoms entspricht und daß zwischen den Niveaus *2* und *1* keine anderen Niveaus mehr liegen, nach denen von *2* aus Übergänge „erlaubt" sind, so würde das Niveau *2* einen metastabilen Zustand darstellen.

Die Lebensdauer metastabiler Atome.

Ein Atom, das sich in einem solchen Zustande befindet und keinen äußeren Störungen unterworfen ist, bleibt in demselben eine gewisse Zeit lang. Über die Lebensdauer solcher metastabiler Zustände wissen wir noch nicht viel, wir können nur sagen, daß sie groß ist gegenüber der Lebensdauer normaler angeregter Zustände, die von der Größenordnung 10^{-8} sec ist. Nach neueren Untersuchungen kann die Lebensdauer metastabiler Zustände[1] sicher Werte von der Größenordnung 10^{-3} bis 10^{-2} sec erreichen. Wenn dauernd Atome durch irgendwelche Prozesse angeregt werden, so müssen sich die metastabilen Atome wegen ihrer langen Lebensdauer anreichern, bis sich ein Gleichgewicht hergestellt hat zwischen den ihre Entstehung und ihre Vernichtung bewirkenden Prozessen. Unter den bei Laboratoriumsversuchen vorliegenden Bedingungen verschwinden die metastabilen Atome dadurch, daß sie entweder erneut angeregt werden oder aber mit anderen Atomen bzw. den Wänden des Entladungsgefäßes zusammenstoßen, wobei sie die Anregungsenergie, die sie besitzen, ohne Lichtemission an die stoßenden Atome oder an die Wand in Form von kinetischer Energie abgeben (Stoß zweiter Art; evtl. kann auch Anregungsenergie auf die anderen Atome übertragen werden). Was geschieht nun aber, wenn ein metastatisches Atom keine Gelegenheit hat, mit einem anderen oder mit einer Wand zusammenzutreffen? Dann wird es, so behaupten wir, während der seiner Lebensdauer entsprechenden Zeit in diesem Zustande bleiben, am Ende derselben aber unter Emission einer „verbotenen" Linie in einen möglichen Zustand kleinerer Energie übergehen. Daß dies so ist, schließen wir aus mancherlei experimentellen Beobachtungen der letzten Zeit wie auch aus theoretischen Überlegungen. Aus beiden folgt: Die Auswahlregeln sind nicht so zu verstehen, daß Übergänge, die ihnen widersprechen, überhaupt niemals vorkommen können, sondern diese sind nur als äußerst unwahrscheinlich zu betrachten. Die Übergangswahrscheinlichkeiten sind den Lebensdauern der angeregten Zustände umgekehrt proportional. Sie sind also für metastabile Zustände etwa hunderttausendmal kleiner zu erwarten als für normale angeregte Zustände. Nach störungslosem Ablauf der Lebensdauer geht aber auch das metastabile Atom genau so wie das gewöhnliche angeregte Atom unter Lichtemission in einen Zustand kleinerer Energie über. Die diesen Übergängen entsprechenden „verbotenen" Linien werden bei Laboratoriumsversuchen in unseren Entladungsröhren deshalb bestenfalls nur ganz schwach beobachtbar sein, weil die metastabilen Atome noch vor dem Emissionsprozeß, also innerhalb der Lebensdauer des metastabilen Zustandes, Zusammenstöße erleiden, die zu ihrer Vernichtung führen[2]. Man sieht aber sofort ein,

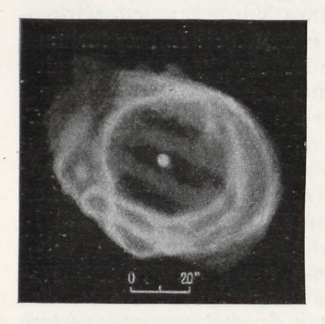
[1] Siehe z. B. H. B. DORGELO, Zeitschr. f. Phys. **34**, 766. 1925.

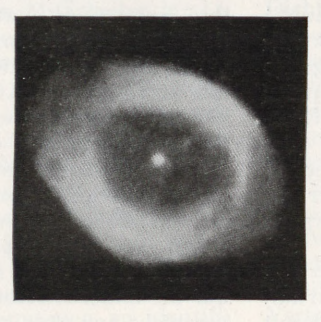
[2] Nicht alle Zusammenstöße zwischen metastabilen Atomen und anderen Atomen oder Molekülen führen, wie insbesondere die Versuche von K. DONAT (Zeitschr. f. Phys. **29**, 345. 1924) und R. W. WOOD (Proc. of the roy. soc. of London, Ser. A **106**, 679. 1924) für metastabile Hg-Atome gezeigt haben, zur Abgabe der An-

daß in den Nebeln die außerordentlich kleine Dichte das Auftreten solcher verbotenen Linien begünstigen muß.

Die physikalischen Bedingungen in den Nebeln.

Wie die Verhältnisse in den Nebeln liegen, wollen wir uns an einem Beispiel, dem Ringnebel in der Leier, vor Augen führen, von dem wir in Fig. 3a und 3b zwei Bilder reproduzieren. CAMPBELL





Ringnebel in der Leier.

Fig. 3a. Zeichnung nach photographischen Aufnahmen mit verschiedenen Expositionszeiten.

Fig. 3b. Photographische Aufnahme.

Nach H. D. CURTIS, Publ. Lick Observ. 13, Tafel 17, 1918.

und MOORE[1] haben aus der beobachteten Rotationsgeschwindigkeit der Nebelmassen die in dem Winkelraum von 25″ enthaltene ungefähre Masse des Ringnebels in der Leier berechnet. Sie erhalten 3,7 bzw. 13,8 Sonnenmassen, je nachdem welchen von den beiden, aus zwei verschiedenen Messungen stammenden Werten für die Parallaxe sie verwenden. Für die folgenden nur größenordnungsmäßigen Berechnungen wollen wir den Mittelwert 8,7 Sonnenmassen zugrunde legen. Da die Entfernung, wie schon gesagt, ungefähr bekannt ist, kann man aus den linearen Dimensionen des Nebels das Volumen und damit die Dichte berechnen. Es ergibt sich der sehr kleine Wert von $7 \cdot 10^{-17}$ g/cm³. Rechnen wir mit einem mittleren Atomgewicht 6, da ja anscheinend nur die leichtesten Elemente in den Nebeln vorhanden sind, so finden wir, daß nur etwa $7 \cdot 10^6$ Atome im Kubikzentimeter enthalten sind. Würden diese Atome Zimmertemperatur haben, so entspräche das einem Druck von etwa $2 \cdot 10^{-10}$ mm Hg. Man sieht also, daß es sich hier um Verdünnungen handelt, die noch um etwa 4 Zehnerpotenzen kleiner sind als die Drucke, die wir mit unseren besten Vakuumpumpen erreichen können.

Wir können nun weiterhin die mittlere freie Weglänge L berechnen, wenn wir eine Annahme machen über den Durchmesser der Atome. Setzen wir diesen gleich $2 \cdot 10^{-8}$ cm, was der Größenordnung nach richtig sein dürfte, so ergibt sich $L = 1140$ km. Rechnen wir mit einer Temperatur von rund 20000°, so ergibt sich für die Geschwindigkeit der Atome vom Atomgewicht 6 der Betrag 8,4 km/sec, und daraus berechnet sich die mittlere Zeit zwischen zwei Zusammenstößen zu rund 2 min[1]. Diese Zahlen sind sicher sehr ungenau, das letzte Ergebnis zeigt aber doch wohl mit Sicherheit, daß die Zeit zwischen zwei Zusammenstößen groß ist gegenüber der Lebensdauer der metastabilen Zustände. Die Spanne zwischen 2 min und 10^{-2} sec ist so groß, daß darüber kaum ein Zweifel bestehen kann. Wir erwarten also, daß in den Nebeln einmal erzeugte metastabile Atome bis zum Ende ihrer Lebensdauer ungestört bleiben und dann „verbotene" Linien emittieren. Die riesigen Dimensionen der Nebel werden außerdem dafür sorgen, daß trotz der starken Verdünnung die Intensität genügend groß wird, um diese Linien auch der Beobachtung zugänglich zu machen. (Schluß folgt.)

regungsenergie an das stoßende Atom oder Molekül. Metastabile Hg-Atome können viele Zusammenstöße mit Argon-Atomen oder N_2-Molekülen überdauern, ohne ihre Energie abzugeben. Zur Energieabgabe führen dann nur Zusammenstöße mit anderen Atomen (bei DONAT z. B. Tl-Atome) oder mit der Wand des Gefäßes. Dies Verhalten der metastabilen Atome eröffnet die Möglichkeit, sie auch in irdischen Laboratoriumsversuchen bis ans Ende ihrer Lebensdauer zu erhalten. Gelingt dies, so müssen sie, wenn die oben gegebene Vorstellung richtig ist, „verbotene" Linien emittieren. Dieser Fall scheint uns realisiert zu sein in den neuesten Versuchen von R. W. WOOD (Philosoph. Mag. 4, 466. 1927), der die „verbotene" Linie $\lambda = 2655{,}8$ $(1S - 2p_3)$ in Emission beobachtete, bei optischer Anregung des Hg-Dampfes, dem einige Millimeter Stickstoff zugesetzt waren. Hier wirken nur die Zusammenstöße der metastabilen Hg-Atome mit der Wand des Gefäßes vernichtend. Rechnet man aus, wie lange Zeit ein metastabiles Hg-Atom unter den bei WOOD vorliegenden Verhältnissen im Mittel braucht, um eine Strecke von 1,25 cm zurückzulegen, was dem Radius des von WOOD verwendeten Rohres entspricht, so erhält man c. 10^{-1} sec. Das ist also noch etwas länger als die vermutliche Lebensdauer der metastabilen Atome und damit ist nach den obigen Vorstellungen das Auftreten der „verbotenen" Linie zu erwarten.

[1] W. W. CAMPBELL und J. H. MOORE, Lick Obs. Bull. 13, 177. 1918.

[1] *Anm. b. d. Korr.:* In einer inzwischen erschienenen weiteren kurzen Mitteilung (Astr. Soc. Pacific 39, 295, 1927) gibt BOWEN für die mittlere Zeit zwischen zwei Zusammenstößen in den Nebeln 10^4 bis 10^7 sec an, ohne die Daten mitzuteilen, die diesen Berechnungen zugrunde liegen. Benutzt man den von EDDINGTON (Der innere Aufbau der Sterne, deutsch von E. v. d. PAHLEN, S. 467. Verlag Julius Springer 1928) für die Dichte in der Mitte eines diffusen Nebels angegebenen Wert $\varrho = 10^{-20}$ g/cm³, so wird unter den obigen Annahmen die Zahl der Atome/cm³ gleich 10^3, die freie Weglänge $L = 8 \cdot 10^6$ km und die Zeit zwischen zwei Zusammenstößen gleich 10^6 sec. Bei den obigen Berechnungen für den Ringnebel in der Leier sind die Daten so gewählt, daß sie den denkbar ungünstigsten Annahmen entsprechen. Da trotzdem der dann erhaltene Wert für die Zeit zwischen zwei Zusammenstößen noch groß genug ist, dürften wohl in allen Fällen die Verhältnisse so liegen, wie sie der BOWENschen Hypothese entsprechen.

Zuschriften.

Der Herausgeber bittet, die *Zuschriften* auf einen Umfang von *höchstens* einer Druckspalte zu beschränken, bei längeren Mitteilungen muß der Verfasser mit Ablehnung oder mit Veröffentlichung nach längerer Zeit rechnen.

Für die Zuschriften hält sich der Herausgeber nicht für verantwortlich.

Sonnenstrahlung im hohen Norden.

In seinem Bericht (NATURWISSENSCHAFTEN, S. 879 bis 882. 1927) spricht KESTNER von den *Ra-Strahlen*, als ob diese bereits definitiv in der physikalischen und physiologischen Wissenschaft verankert wären, um hiermit die chemisch wirksamsten, kurzwelligsten Strahlen des Ultraviolettspektrums zu bezeichnen. Der Name wird von *Rachitis* hergeleitet, um die therapeutische Bedeutung dieser Art von Strahlung zu kennzeichnen. Ich glaube, daß eine derartig willkürliche Bezeichnung aufs schärfste bekämpft werden muß, da sie nur geeignet ist, Verwirrung anzurichten. *Ra* ist das internationale Symbol für das Element Radium, *das* Element gerade, welches durch seine Strahlung bekanntgeworden ist, und wir können seine α-, β- und γ-Strahlung mit vollem Recht als Radium- resp. *Ra*-Strahlung bezeichnen. Es dürfte schwer sein, die unglücklichen Ra-Strahlen im KESTNERschen Sinne in die internationale Wissenschaft einzuführen. Will man überhaupt diesen Strahlen eine Benennung geben, so sei an den Vorschlag von HANS MEYER, L. BRAUER, W. HAUSMANN in Strahlentherapie 1926 erinnert, dem deutschen und bekanntesten Forscher auf diesem Gebiet, DORNO zu Ehren, von *Dorno-Strahlen* zu sprechen.

Außerordentlich interessant sind die KESTNERschen Beobachtungen über eine Zunahme der Ultraviolettstrahlung in hohen Breiten, wobei allerdings festzustellen wäre, ob nicht einfach das Klima des hohen Nordens mit seinem verminderten Wasserdampfgehalt in der Atmosphäre die Ursache wäre. Unannehmbar aber ist, daß diese Erhöhung, selbst wenn sie tatsächlich vorhanden wäre, zur antirachitischen Vitaminbildung in Beziehung gebracht wird. Wasser in schon dünnen Schichten bildet einen gewaltigen Strahlungsschutz gegenüber dem kurzwelligen Spektrum, und es ist nicht anzunehmen, daß die Planktonwelt der arktischen (und antarktischen) Regionen eine besondere Aktivierung erfahren wird, um evtl. nach Passagen durch kleinere Fische, in der Leber von Dorschen, Walen usw. das Vitamin besonders anzureichern. Auch der Lebertran von Walfischen, die keineswegs alle in den Gewässern der Polargebiete gefangen werden, ist vitaminreich. M. E. spricht gerade das konzentrierte Vorkommen dieser lebenswichtigen Stoffe in den Lebern von Bewohnern der Ozeane überhaupt gegen die einseitige Auffassung, daß zur Bildung des Ergosterins (oder eines anderen antirachitischen Vitamins) Ultraviolettlicht durchaus erforderlich ist.

Santiago (Chile), den 18. Januar 1928.

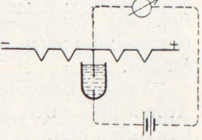
WALTER KNOCHE.

Nachweis von Protonen in Metallen.

Aus der Tatsache, daß die Wasserstoffaufnahme in Palladium, Eisen usw. proportional der Wurzel aus dem Druck erfolgt, war der Schluß gezogen worden, daß der Wasserstoff in den Metallen in atomistischer Form vorhanden sei. Ist aber das der Fall, dann liegt die Annahme nicht fern, daß die Wasserstoffatome im Metall sich ähnlich verhalten wie die Metallatome selbst, d. h. daß ein mehr oder weniger großer Bruchteil von ihnen Elektronen freigibt und die Atome selbst positiv geladen zurückbleiben, daß also im wasserstoffhaltigen Palladium neben neutralen und positiven Metallatomen und Elektronen ein statistisches Gleichgewicht zwischen Wasserstoffatomen, Elektronen und Protonen besteht. Während aber die Metallatome in jedem Fall an ihren Ort im Krystallgitter gebunden sind, zeigt sich, daß der Wasserstoff durch dünne Folien von Palladium und Eisen leicht diffundiert. Einen Anhalt für die Diffusionsgeschwindigkeit gaben Messungen (COEHN und BAUMGARTEN, Zeitschr. f. physikal. Chem. **130**, 545. 1927), bei denen an der einen Seite eines Metallbleches elektrolytisch Wasserstoff entwickelt und sein Erscheinen an der anderen Seite durch die Potentialänderung festgestellt wurde. Sind Protonen im Metall vorhanden, so erscheint es möglich, daß deren Bewegung durch ein Potentialgefälle im Metall beeinflußt wird.

Um dies zu untersuchen, wurde zunächst der Nachweis geführt, daß die Diffusion des Wasserstoffes in Metallen sich nicht nur an dünnen Folien sondern auch durch längere Drähte hin messend verfolgen läßt. Daran anschließend wurde geprüft, ob diese Diffusion in einer Richtung beschleunigt erscheint, wenn längs des Drahtes ein Potentialgefälle herrscht.

Ein Palladiumdraht von ca. 6 cm Länge wurde in der Mitte auf etwa 1 cm Länge zusammengedreht und dort elektrolytisch aus einer 0,1-n-H_2SO_4-Lösung mit Wasserstoff beladen, wobei für einen Draht von 0,3 mm Durchmesser 0,002 Amp. benutzt wurden. Der Draht war von der Mitte aus nach beiden Seiten horizontal geführt und trug in gleichen Abständen je eine oder, wie die Skizze zeigt, mehrere Biegungen in Gestalt eines V. So konnten die tiefsten Stellen von unten her mit der Oberfläche einer 0,1-n-H_2SO_4-Lösung zur Berührung gebracht und das Potential dieser Drahtstellen gegen eine Normalelektrode am Quadrantelektrometer gemessen werden. Vor Beginn des Versuches zeigten alle der Messung zugänglichen Stellen des an der Luft aufbewahrten Drahtes ein auf 0,01 bis 0,02 Volt übereinstimmendes Sauerstoffpotential. Wurde die Mitte mit Wasserstoff beladen, so diffundierte der Wasserstoff im Draht nach beiden Seiten. Wurde nun unabhängig von dem elektrolysierenden Strom der Draht selbst noch von einem Strom von 1 Amp. durchflossen, so daß in dem horizontalen Teil ein Potentialgefälle von ca. 0,015 Volt/cm herrschte, so langte der Wasserstoff zuerst an der dem kathodischen Ende des Drahtes zugewendeten Spitze an. Unter den angegebenen Bedingungen betrug regelmäßig nach 55—60 Stunden die Potentialdifferenz dieser Stelle gegen die korrespondierende Stelle auf der anodischen Hälfte 0,1—0,15 Volt. Durch den *gleichmäßig* nachdiffundierenden Wasserstoff verkleinerte sich die Potentialdifferenz wieder, erschien aber dann später an den beiden nächsten korrespondierenden Stellen. Um jede auch bei zahlreichen Versuchen mit verschiedenen Drähten noch mögliche Zufälligkeit der Drahtbeschaffenheit auszuschließen, wurde nach deutlichem Auftreten der Potentialdifferenz die Stromrichtung im Draht umgekehrt. Nach einiger Zeit erschien dann eine Potentialdifferenz an den korrespon-



dierenden Stellen im umgekehrten Sinn. In dieser Weise konnte der Wasserstoff in demselben Palladiumdraht mehrfach hin- und hergetrieben werden. Es dürfte somit als erwiesen gelten, daß ein Teil des vom Palladium absorbierten Wasserstoffs im Stromgefälle zum negativen Ende wandert. Die Arbeitshypothese, welche zur Auffindung dieser Tatsache führte, bestand in der Annahme, daß ein Teil des Wasserstoffes im Metall in der Form von Protonen vorhanden ist. Die ausführliche Darstellung dieser und daran sich anknüpfender Versuche wird die Dissertation von WERNER SPECHT bringen.

Göttingen, den 10. Februar 1928.

ALFRED COEHN.

Bemerkung zur wellenmechanischen Deutung des limitären Ramsauer-Effektes.

Um zu erklären, daß ein extrem langsam laufendes Elektron in der Limite überhaupt ungestört quer durch ein Edelgasatom laufen kann, hätte die Wellenmechanik zu zeigen, daß ebene DE BROGLIE-SCHRÖDINGER-Wellen bei unbegrenzt wachsendem λ durch das Atom limitär überhaupt nicht mehr zerstreut werden.

Der übliche Hinweis auf eine Analogie mit dem RAYLEIGHschen Phänomen: Zerstreuung von Lichtwellen durch eine kleine optische Inhomogenität erfolgt proportional λ^{-4} — ist, wie man jetzt besonders dank der schönen Arbeit von Frl. MENSING[1] sieht, unzureichend. Es zeigt sich nämlich bei näherer Verfolgung dieser Analogie: Die Störung, die das Atomfeld an der Primär-Elektronenwelle hervorbringt, entspricht mathematisch einer optischen Inhomogenität, deren Brechungsindex von λ abhängig ist und gerade prop. λ^4 *wächst*[2], und also den anderen Faktor λ^{-4} gerade kompensiert, m. a. W. *ohne weitergehende Annahmen führt die Rayleighsche Analogie auch für beliebig kleine Geschwindigkeiten des Primär-Elektrons zu elastischen Stößen.*

Welche besondere Annahme über die Struktur des Atomfeldes noch hinzukommen muß, kann man sich besonders einfach deutlich machen an Hand des geistvollen Beispiels, durch das FERMI[3] BORNS Stoßtheorie illustriert hat. Ein allein in der X-Y-Ebene bewegliches Elektron kommt parallel mit der X-Achse und stößt mit einem Rotor zusammen, der bei $X = Y = 0$ liegt. Indem FERMI den Drehwinkel des Rotors durch die Z-Koordinate repräsentiert, zeigt er, daß es sich wellenmechanisch um die Beugung ebener einfallender Wellen an einer „Schliere" (Inhomogenität) handelt, die nahe längs der Z-Achse, und zwar periodisch in Z ausgebreitet ist.

Er hat diese *Gitterbeugung* ausführlich diskutiert; für uns kommt allein ein besonders einfacher Grenzfall dieser Gitterbeugung in Betracht: Der Rotor ruhe im Beginn, d. h. die Primärwelle hat die X-Achse zur Normale. Die Primärenergie des Stoßelektrons sei ferner so klein, daß sie auch nicht zu der ersten Anregung des Rotors ausreicht, m. a. W. es können keine Spektren erster oder noch höherer Ordnung erzeugt werden; allein das Spektrum nullter Ordnung ist noch zu besprechen, d. h. weglaufende Sekundärwellen mit horizontaler Normale; in Partikelsprache: Elastische Zusammenstöße.

Die schönen alten optischen Untersuchungen von RAYLEIGH[1] und SCHUSTER[2] über „simple harmonic gratings" zeigen nun den Weg, wie man in der Wellenmechanik diese elastischen Zusammenstöße (Spektrum nullter Ordnung) loswerden kann: Die Fourier-Zerlegung der Gitterstruktur darf keinen konstanten Term enthalten (die FERMIsche „Schliere" muß bei Mittelung über z Null liefern). Der „regulärspiegelnde" Teil des Gitters muß abwesend sein. Hat das Potential der Wechselwirkungskräfte zwischen Atom und stoßendem Elektron (in unserem Beispiel als Funktion des Drehwinkels des Rotors) diesen speziellen Symmetrie-Charakter, so fehlen elastische Zusammenstöße.

Bemerkungen:

1. Der obige Gedankengang ist sicher noch zu primitiv; indem wir nämlich die *elementare* Theorie der Gitterbeugung heranziehen, beschränken wir uns auf Störungsrechnung erster Ordnung. In unserem Beispiel würde eine vollständigere Berücksichtigung der Wechselwirkung zwischen Elektron und Rotor mathematisch sehr ähnlich verlaufen mit der verfeinerten Theorie der Röntgenstrahlendiffraktion in Krystallen, wie sie DARWIN[3] und EWALD[4] im Anschluß an RAYLEIGH entwickelt haben, während unsere Andeutungen der elementaren BRAGGschen Theorie entsprechen. Im wesentlichen handelt es sich um die Diskussion einer Differentialgleichung von MATHIEU und die Rolle, die dabei der konstante Term im periodischen Koeffizienten spielt.

2. Nur erst diese vollständigere Behandlungsweise würde vielleicht aufkären, ob und warum *limitär* für $\lambda = \infty$ die elastischen Zusammenstöße einem ungestörten Durchlaufen Platz machen, während unsere rohe Überlegung überhaupt elastische Zusammenstöße ausschließt! Insbesondere kann nicht ohne solch eine mehr tiefgehende Diskussion aufgeklärt werden, bei welchen Atomen sich ein langsam laufendes Elektron einfach anlagern kann.

Leiden, den 22. Februar 1928.

P. EHRENFEST. A. J. RUTGERS.

[1] L. MENSING, Zeitschr. f. Phys. 45, 603. 1927.
[2] Bei Frl. MENSING Fußnote l. c. S. 608 für konstantes Feld aber ebenso auch für Zusammenstoß mit Atom.
[3] E. FERMI, Zeitschr. f. Phys. 40, 399. 1927.

[1] RAYLEIGH, Enc. Brit., Bd. XIV, S. 607; Scientific Papers III, S. 106. 1887.
[2] SCHUSTER, Philosoph. mag. 37, 509. 1894.
[3] DARWIN, Philosoph. mag. 27, 315 und 675. 1914.
[4] EWALD, Ann. d. Phys. 54, 519. 1918.

Molekülspektrum des Wasserstoffs.

Eine Notiz im Februarheft des Physical Review veranlaßt uns zur Mitteilung, daß auch im physikalischen Institut der Universität Bonn eine Ausmessung des Molekülspektrums des Wasserstoffs mit Hilfe eines großen Gitters mit einer Dispersion von ungefähr zwei Ångström-Einheiten pro mm unternommen und zum größten Teil durchgeführt ist. Die Resultate werden in Kürze veröffentlicht werden.

Bonn, den 22. Februar 1928.

H. KONEN. FINKELNBURG.

Besprechungen.

KAISER, E., **Die Diamantenwüste Südwestafrikas.** Zugleich Erläuterung zu einer geologischen Spezialkarte der südlichen Diamantfelder 1 : 25000, aufgenommen von W. BEETZ und E. KAISER. Mit Beiträgen von W. BEETZ, J. BOEHM, R. MARTIN, H. RAUFF, M. STORZ, E. STROMER, W. WEISSERMEHL, W. WENZ, K. WILLMANN. 2 Bände. Berlin: Dietrich Reimer (Ernst Vohsen) 1926. XVII, 856 S., 13 Karten, 56 Tafeln, 32 Stereobilder, 158 Abbildungen. 23 × 31 cm. Preis RM 120.—.

Unmittelbar vor dem Kriege war E. KAISER in die Diamantenwüste (südliche Namib) gegangen, um engbegrenzte Forschungsaufgaben zu verfolgen. Der Krieg hielt ihn dort fest, und so hatte er Gelegenheit, wenn auch mit stellenweise beschränkten Mitteln, so doch im allgemeinen wenigstens nicht mit beschränkter Zeit, an die gründliche geologische Untersuchung seines Arbeitsgebietes heranzugehen. Unter anderem war es möglich, die geologische Kartierung der südlichen Diamantfelder (ca. 90 km × 8 km) im Maßstabe 1 : 25000 vorzunehmen. Die Früchte seiner jahrelangen Forschungen haben wir in dem vorliegenden Werke vor uns, ergänzt durch Abhandlungen seines Mitarbeiters im Gelände Dr. BEETZ und durch die von verschiedenen Mitarbeitern vorgenommenen Bearbeitungen des von KAISER gesammelten Materials an Fossilien, Gesteinsproben usw. Ein Abschnitt von R. MARTIN „Zur Anthropologie der Buschmänner" darf nicht übersehen werden.

Es ist nicht verwunderlich, daß es kein auch nur einigermaßen in den Rahmen der Geologie fallendes Problem gibt, das in dem fundamentalen Werke nicht behandelt ist. Alle Nachbardisziplinen, deren Gebiete dabei gestreift werden, müssen dem Verfasser dafür dankbar sein. Die vielseitig aufgebauten Abschnitte über die Stratigraphie, Paläontologie und Tektonik des Untersuchungsgebietes enthalten eine Fülle von Ergebnissen. Soweit Referent sich überhaupt ein Urteil hat bilden können, sind die Ergebnisse nicht nur für die Namib, also mehr lokal, sondern mindestens für die gesamte Geologie Südafrikas wichtig.

Aber selbst diese wertvollen Teile des Werkes treten vielleicht zurück gegenüber den Ausführungen, die sich mit den jugendlichen wüstenhaften Vorgängen und den dadurch entstehenden Bildungen in petrographischer und morphologischer Hinsicht befassen. Diese Ausführungen haben bereits größere Beachtung gefunden und verdienen sie noch weit mehr. Besonders wichtig ist die große Zahl exakter und vorsichtig interpretierter Einzelbeobachtungen, die dem Kenner anderer Wüsten gestatten, sich ein zuverlässiges Bild von den Verhältnissen in der Namib zu machen und so die Ergebnisse KAISERS auch dort anzuwenden, wo lokale Unterschiede bestehen. Ausdrücklich hervorgehoben seien die Ausführungen über die Verkieselungsvorgänge, die nach KAISER in der Namib und wahrscheinlich in vielen anderen ariden Gebieten eine bei weitem nicht genügend gewürdigte Rolle spielen, die Ausführungen über die chemische Verwitterung ganz allgemein, über die Rolle des Grundwassers, über die Bewegung des Wüstenschuttes und die aride Eindeckung usw. Sehr interessant sind die detaillierten Ausführungen über den Flugsand und die Wanderdünen, die bisher wohl nur in den Beobachtungen SVEN HEDINS in den asiatischen Wüsten eine Parallele haben. Eine sehr große Zahl vorzüglicher Lichtbilder, zum Teil sogar Stereobilder, und zahlreiche Textabbildungen erleichtern, zusammen mit den beigegebenen Karten, das Verständnis aller Ausführungen und erhöhen die Beweiskraft.

Im ganzen hat es KAISER mit zwei sehr verschiedenen Wüstentypen zu tun, der etwa 400 km langen, der Küste in einer Breite bis zu 15 km folgenden „Wannennamib", die von KAISER vorwiegend als Deflationslandschaft aufgefaßt wird, und der landeinwärts sich anschließenden „Flächennamib", in der Vorgänge arider, insbesondere fluvio-arider Eindeckung mit Vorgängen arider flächenhafter Abtragung Hand in Hand gehen. Es sind das zwei Wüstentypen, die in ähnlicher Ausbildung offenbar in großer Verbreitung auf der ganzen Erde wiederkehren. So z. B. kehrt die Wannennamib in Teilen der nordchilenischen Küstenwüste wieder, wenn auch mit Abwandlungen, die durch die anderen Großformen bedingt wird. Die Flächennamib könnte, wie ich aus den anschaulichen Schilderungen KAISERS zu schließen mich berechtigt glaube, der Mittelwüste Nordchiles, insbesondere in der Breite von Taltal, entsprechen. Abgesehen von dem Fehlen des Flugsandes und der Wanderdünen wie auch der Vegetation in den entsprechenden Gegenden Nordchiles sind die Verhältnisse anscheinend so ähnlich, daß ich zahlreiche Schlüsse KAISERS durch Beispiele aus dem nordchilenischen Wüstengebiet bestätigen könnte. Ich habe somit also selbst an mir bekannten Gebieten die Probe aufs Exempel machen können, wie überaus gründlich und vielseitig die Untersuchungen KAISERS in der Namib und wie wertvoll seine Darlegungen für das Verständnis anderer Wüsten sind.

Daneben gibt es jedoch in Chile in weiter Verbreitung einen Wüstentypus, die „Kernwüste", den KAISER in der Namib offenbar überhaupt nicht kennengelernt hat. Ich will hier nicht die leidige Diskussion Deflation-Korrasion wieder aufrollen, nachdem die beiden Hauptbeteiligten auf dem letzten Naturforschertag in Düsseldorf zu einer Einigung gekommen sind. Ich möchte aber doch wenigstens erwähnen, daß es Vollwüsten, und zwar *besonders* extreme, gibt, in denen eine Entstaubung, wie sie KAISER aus seinen Erfahrungen in der Namib als das Charakteristicum jeder Vollwüste auffaßt, nicht stattfindet; im Gegenteil, wo der trockene, sehr feine Staub, nur geschützt durch eine dünne Verhärtung an der Oberfläche, die „Staubhaut", alle Berge und Hügel überzieht und auch auf den Schuttflächen nicht fehlt. Er ist in der chilenischen Kernwüste das landschaftbeherrschende Moment! Wir haben damit einen Wüstentypus, der sich den Ansichten KAISERS, wie er sie an einigen Stellen seines Werkes für *alle* Wüsten entwickelt, nicht fügt.

Mit dem Fehlen unmittelbarer Windwirkung in einer Wüste kann natürlich auch das Verhältnis der übrigen Faktoren zueinander ein anderes werden; in der chilenischen Kernwüste z. B. ist damit ein fast paradox erscheinendes Vorwiegen der Wirkungen des fließenden Wassers verbunden. Es scheint mir somit etwas gewagt, die Ansichten über das gegenseitige Verhältnis der einzelnen im ariden Klimareich wirkenden Kräfte, die ich für die Namib durchaus für zutreffend halte, auf *alle* Wüsten zu erweitern, wie es KAISER, seine sonstige Vorsicht etwas vergessend, tut (und auch in früheren Veröffentlichungen bereits getan hat). Daß die Verhältnisse in der chilenischen Wüste, die mich zu diesen Zweifeln veranlassen, nicht singulär sind, also nicht etwa als lokal bedingte Ausnahme einfach beiseite geschoben werden können, zeigen die entsprechenden Beobachtungen von PASSARGE in anderen Wüstengebieten, die allerdings von KAISER wohl bezweifelt

werden, die sich jedoch mit meinen in der chilenischen Kernwüste zum Teil ausgezeichnet decken.

Wir müssen, wollen wir zu endgültigen Ansichten über die Faktoren der Wüstenbildung kommen, zuerst einmal anerkennen, daß es sehr viele verschiedene Wüstentypen gibt und daß jeder Wüstentypus seine eigene Gesetzmäßigkeit hat oder wenigstens haben kann. Ob man meine eigene klimatische Deutung der verschiedenen chilenischen Wüstentypen als brauchbar anerkennt (und dann auch manche Vorzeitbildung gerade umgekehrt deutet als bisher!) oder nicht, ist dafür vorerst belanglos. Wenn wir *alle* vorhandenen Wüstentypen so genau kennen werden wie Dank den KAISERschen Untersuchungen die zwei Typen der Wannen- und der Flächennamib, werden wir wohl über die Gesetze der Wüstenbildung nicht mehr im Zweifel sein! Allerdings würde diese auf dem Wege befindliche Erkenntnis sicher aufgehalten werden, wenn man die in einem Gebiet gewonnenen Ergebnisse zu stark verallgemeinert und womöglich aus anderen Wüsten beigebrachte Ergebnisse, wenn sie sich den eigenen nicht fügen, für unrichtig hält. Diese Gefahr ist um so größer, je exakter man in seinem eigenen Gebiet gearbeitet hat und je unangreifbarer die eigenen Ergebnisse somit sind. Es scheint, daß auch E. KAISER ebenso wie andere Wüstenforscher dieser Gefahr nicht immer ganz entgangen ist.

Die Tatsache, daß nicht alle Ergebnisse KAISERS Allgemeingültigkeit für sämtliche Wüsten haben, tut dem großen Werte seines Werkes keinen Abbruch. Kein Wüstenforscher wird an den überaus gründlichen Ausführungen KAISERS vorbeigehen können. Den Weg, den weitere Forschung in anderen Wüsten gehen muß, hat KAISER vorgezeichnet. Hoffen wir, daß er noch recht oft begangen werden wird.

HANS MORTENSEN, Göttingen.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 4. Februar 1928 berichtete Professor HANS KRIEG, München, über die von ihm organisierte und geleitete **Deutsche Gran Chaco-Expedition** auf welcher ihn Dr. LINDNER als Entomologe und Photograph, sowie der Präparator KIEFER begleiteten, und welche im wesentlichen der zoologischen und tiergeographischen Untersuchung des nördlichen Gran Chaco im Grenzgebiete von Argentinien, Paraguay und Bolivien galt.

Der Gran Chaco ist die nördliche Fortsetzung der mittelargentinischen Pampa, und sein nördlicher, also bolivianisch-paraguayscher Teil wird im Westen durch den Ostabfall der Anden begrenzt, im Norden durch die Mittelgebirge von Chiquitos und im Osten vom Paraguayfluß. Diese Gegend ist noch verhältnismäßig wenig bekannt, weil der Untergang mehrerer Expeditionen, die meist vom Durst geschwächt, schließlich von den Indianern niedergemacht worden waren, den Norden des Gran Chaco in einen bösen Ruf gebracht hatte.

Der erste Teil des Marsches, der insgesamt mehr als 5000 km Länge aufwies, folgte von Asuncion am Paraguay-Flusse aus in nordwestlicher Richtung dem Rio Pilcomayo an der Nordgrenze Argentiniens quer durch die Pampa, die man dort aber nicht so nennt, weil dieser Name eine Provinz bezeichnet. Der Vortragende teilt zwar nicht die Ansicht von O. SCHMIEDER, daß die Pampa früher vollkommen bewaldet gewesen sei (vgl. Naturwissenschaften 15, H. 32, S. 665. 1927) gibt aber zu, daß der Baumbestand auch jetzt noch weiter vermindert wird, weil die Indianer vielfach das Buschwerk abbrennen, und zwar aus verschiedenen Gründen, z. B. um dann leichter die Eier des Pampa-Straußes finden zu können. Der Bestockung mit Vieh stehen verschiedene Schwierigkeiten entgegen. Vielfach handelt es sich um Kreolenvieh von langsamem Wachstum, das neuerdings mit der englischen Shorthornrasse eingekreuzt wird. Aber im Norden läßt sich hochwertiges Vieh wegen des Texasfiebers nicht halten. Man kreuzt daher das Kreolenvieh dort mit dem brasilianischen Zeburind, das nicht nur gegen Texasfieber widerstandsfähiger ist, sondern auch das trockene Klima besser verträgt.

Die Grasebene ist nicht einförmig, weist vielmehr des öfteren Grasinseln innerhalb von Baumbeständen auf und trägt Präriecharakter. Der feinkörnige Boden stellt größtenteils ein Spätstadium der Verwitterung des Gebirgsschuttes dar, besteht aber zum anderen Teil aus einem, von Überschwemmungen stammenden Trockenschlick. Das Gefälle zum Rio Paraguay ist sehr gering, denn von Villa Montes, das am Fuß der Anden in 200—250 m Höhe liegt, bis Asuncion am Paraguay in 80 m Höhe durchäuft der Rio Pilcomayo 1200 km, wobei er, ebenso wie sein südlicherer Parallelfluß, der Rio Bermejo, zahlreiche Mäander bildet. Viele Bäche versiegen in der Steppe und selbst der Mittellauf des Pilcomayo verliert sich in Sümpfen. In der Trockenzeit ist der Ablauf aus diesen Sümpfen salzig. Eine streifenförmige, nord-südlich verlaufende Salzzone, welche offenbar durch Verdunstung des Wassers entstanden ist, erstreckt sich nördlich bis in die Gegend von Iquitos, von wo die Indianer mit Ochsenkarren ausziehen, um das Salz zu holen. Die Salzzone wird im Westen durch kontinuierlichen, trockenen Buschwald, im Osten durch das Überschwemmungsgebiet des Rio Paraguay mit Quebracho- und Palmenwäldern eingerahmt. Der innere Gran Chaco ist regenarm, und es gibt Gebiete, an denen mitunter länger als ein Jahr so gut wie gar kein Regen fällt. Im Mittel dürfte die Niederschlagsmenge kaum mehr als 100 mm betragen, während sie am Fuß der Kordillere auf 600, im Norden auf 1000 mm ansteigt. Der warme tropenfeuchte, aus dem Amazonasgebiet wehende Nordwind und der trockene kalte, aus Argentinien kommende Südwind überwiegen die anderen Windrichtungen. Das Klima ist im allgemeinen gesund. Pathogene Bakterien spielen praktisch gar keine Rolle. Die tropischen Einflüsse des Nordens reichen an den Rändern des Chaco weit nach Süden, namentlich da, wo Schutz gegen die trockenen Südwinde vorhanden ist. So wird der nach Norden vorgeschobene Chaco hufeisenförmig von einem tropischen Wachstumsgebiet umfaßt. Die Besiedelung dringt hauptsächlich nach Norden, aber auch nach Westen und Osten vor. Im Osten, am Westufer des Rio Paraguay wirkt die Fabrikation von Tannin aus den Quebrachobäumen günstig auf die Besiedelung, doch verlagert sich diese Kolonisationswelle nur langsam westwärts in das Innere hinein. Im Westen, am Abhang der Kordillere, wo Petroleumfunde gemacht wurden, schiebt die Standard Oil Company ihren Einfluß längs des Gebirgsrandes nach Norden vor.

Der Norden bildete zur Konquistadorenzeit den Schauplatz für große Heereszüge vom Rio Paraguay nach Peru. Später haben die Jesuiten hier kolonisiert; sie wurden in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts vertrieben. Dann kam jene Periode, welche ihr Gepräge durch die Gewinnung des Gummi erhielt, der nach Santa Cruz de la Sierra und Corumba in Brasilien abtransportiert wurde. Heute ist die Hochkonjunktur

des Gummis vorüber, und Santa Cruz de la Sierra ist ein stilles Städtchen, fern von dem Getriebe der Welt. Es gibt kein Auto, und man muß, um die nächste Bahnstation Cochabamba zu erreichen, zwei Wochen lang reiten. Aber gerade diese Isolierung macht das Leben dort überaus behaglich.

Zum Schluß berichtete der Vortragende an der Hand von Lichtbildern noch über einige Resultate seiner Spezialforschungen. Am Oberlauf des Pilcomayo konnte man feststellen, daß der Wasserstand in wenigen Tagen um $5^1/_2$ m gesunken war. In den, bei der Wanderung der Mäanderwindungen abgeschnürten Altwässern (rios muertos) der Flüsse zeigte sich eine Anhäufung von Tieren, insbesondere von Kaimanen und Schlangen. Vegetationsmassen, die durch ballonartige Schwimmkörper an den Wasserpflanzen getragen wurden, bildeten häufig schwimmende Inseln. Von den Tieren zeichnen sich durch abenteuerliche Formen verschiedene Arten von Gürteltieren, Faultier, Ameisenbär und Baumstachelschwein aus.

Die Gefährlichkeit der noch wenig bekannten Indianerstämme wird vielfach übertrieben. Von den Pilaga, welche den Südrand der Pilcomayo-Sümpfe bewohnen und denen der italienische Forscher IBARETTA zum Opfer gefallen war, erwarb der Vortragende unter besonderen Zeremonien zwei Skalpe, welche von den Chulupi-Indianern stammten. Die Pilaga sind von hohem, schlankem Wuchs und repräsentieren den schönsten Indianerstamm von allen, die auf der Reise angetroffen wurden. Sie sind, wie alle freien Chaco-Indianer, Jäger und Fischer. Ihre Waffen sind Bogen, Pfeil und Keule. Ihre Kultur ist denkbar einfach und ihre Geräte sind schmucklos. Ein anderer Indianerstamm zeichnet sich dadurch aus, daß bei ihm eine Männer- und eine Frauensprache gesprochen wird.

Im Gegensatz zu den wilden und primitiven Chaco-Indianern gibt es auch angesiedelte Stämme, welche Ackerbau treiben und namentlich Mais sowie Süßkartoffeln kultivieren.

O. B.

Botanische Mitteilungen.

Pollenanalytische Untersuchungen im südlichen Bayern. Während über den Osten (Böhmen, Ostalpen) und Südwestdeutschland (Baden, Württemberg) schon eingehende pollenanalytische Studien vorliegen, klafft für das zwischenliegende Gebiet eine weite Lücke, die nunmehr durch eine Arbeit von PAUL und RUOFF (Ber. d. bayr. bot. Ges. **29**. 1927), zum Teil ausgefüllt wird. Auf Grund einer Detailuntersuchung von 15 Mooren lassen sich folgende allgemeine Züge herausschälen, wobei wir uns in der Nomenklatur und Datierung der postglazialen Zeitabschnitte an die schwedischen Forscher halten:

1. Präboreale Zeit (bis 6500 v. Chr.). Die präboreale Zeit hat mit einem waldfreien Abschnitt begonnen. Die untersten Moorschichten sind zum Teil gänzlich pollenfrei (Kolbermoor, Schichten mit der glazialen Zwergbirke). Als erste Bäume erscheinen Birke und Kiefer, letztere oft alleinherrschend, so daß man von einer Kieferzeit reden kann. Für eine zuvorlaufende Birkenzeit, wie sie vielfach im Westen (z. B. Bodenseegebiet) nachgewiesen ist, fehlen in Bayern Anhaltspunkte. Am Schluß der Kieferzeit betritt die Fichte das Gelände.

2. Boreale Zeit (6500—5500 v, Chr.). Diese Periode rechnen PAUL und RUOFF von dem Zeitpunkte, wo die Kieferkurve sich nach abwärts wendet, bis zu dem Augenblick, wo die sinkende Kieferkurve von der steigenden Fichtenkurve überschnitten wird. Als Neulinge erscheinen Hasel, Erle und Eichenmischwald. Die Hasel steigt rasch zu ihrem absoluten Gipfelpunkt (rund 32%, maximal bis 100%) empor, so daß man diese Zeit als Kiefer-Haselzeit bezeichnen kann.

3. Atlantische Zeit (5500—3000 v. Chr.). Die atlantische Zeit umspannt die Periode von dem Schnittpunkt der Kiefer- und Fichtenkurve bis zum 1. Erlenmaximum. Bezeichnend für diesen Abschnitt ist das etwa gleichzeitige Kulminieren des Eichenmischwaldes und der Fichte, wobei die Fichte etwa die doppelten Werte erreicht (ca. 40 gegen ca. 20%). Indessen ist hervorzuheben, daß in dieser Hinsicht keine vollständige Einheitlichkeit besteht, daß vielmehr in tieferen Lagen mehr der Eichenmischwald mit Ulme, Linde und Eiche, in höheren Lagen mehr die Fichte betont ist. Ein weiterer charakteristischer Zug liegt in der Tatsache, daß die Fichte nicht im ganzen Gebiet gleichmäßig erscheint, daß sie vielmehr im Osten früher auftritt, ein Umstand, der darauf hinweist, daß sie von Osten zugewandert ist. Damit stimmt sehr schön ihr sehr frühes Auftreten in Böhmen und in den Ostalpen und ihre erhebliche Verspätung im Westen (Bayern, Württemberg, Westschweiz). Das führt dahin, daß man zwar in Bayern, wie in Böhmen, noch von einer Eichenmischwald-Fichtenzeit reden kann, daß wir aber im weiteren Westen eine reine Eichenmischwaldperiode antreffen, während der Fichtenanstieg erst ganz am Schluß *nach der Buche* stattfindet. Die Fichte folgt also in Bayern in dieser Hinsicht dem östlichen Typus. Innerhalb der Eichen-Fichtenzeit erfolgt die Einwanderung der Buche und der Tanne.

4. Subboreale Zeit (3000—900 v. Chr.). Die subboreale Zeit wird gerechnet von dem 1. Maximum der Erle bis zu dem 1. Maximum der mehrfach oszillierenden Buchenkurve, die im allgemeinen 3 Gipfel aufweist. Das 1. Erlenmaximum liegt bei ca. 15%, doch kann sie im Extrem 85% erreichen, die Buche arbeitet sich bis ca. 34%, maximal bis 57%, empor. Zeitlich eine entsprechende Spannweite wie die Buche besitzt auch die Tanne, doch liegen ihre Prozentwerte, die meist nur ganz knapp 10% übersteigen, wesentlich tiefer, ein Verhalten, wodurch sich Bayern von den westlichen Gebieten stark unterscheidet. Im Gegensatz zu der Fichte treten Buche und Tanne innerhalb des untersuchten Areals an der Westflanke zuerst auf. Das stimmt sehr schön mit anderweitigen Erfahrungen überein und läßt auf eine Zuwanderung von Westen schließen, was mit der atlantischen Tönung der beiden Bäume im besten Einklang steht. Tatsächlich werden wir ihr Hauptrefugium während der Glazialzeit im Westen zu suchen haben.

5. Subboreale Zeit (900 v. Chr. bis zur Gegenwart). Die subboreale Zeit reicht vom 1. Buchenmaximum bis zur rezenten, wahrscheinlich forstlich beeinflußten Fichtenzeit, die mit einem Wiederanstieg der Kieferkurve parallel läuft. Für den ersten Abschnitt ist die Ausbreitung der Buche charakteristisch, so daß er als Buchenzeit bezeichnet werden kann. Auch die Erle ist mit starken Prozenten vertreten, sinkt aber nach mehrfachen Schwankungen am Schlusse sehr stark herab. Desgleichen sind Hasel, Eichenmischwald und Tanne nur gering vertreten, so daß das Gepräge der allerletzten Phase tatsächlich durch Kiefer und Fichte bestimmt wird. Möglicherweise steht der beträchtliche Zuwachs, den die Kiefer jetzt noch einmal erfährt, mit der Bewaldung vieler Moore im Zusammenhang, doch

deuten die entsprechenden Kurven in Baden darauf hin, daß das kaum der einzige Grund ist.

Heben wir zum Schluß noch einmal die Kontraste gegen Baden besonders hervor, so ist zu sagen, daß dort der Kieferperiode eine Birkenperiode vorgeschaltet ist, daß Hasel und Eichenmischwald viel höhere Prozentwerte erreichen, daß auf die hier rein ausgeprägte Eichenmischwaldphase eine kombinierte Erlen-Buchen-Tannenphase folgt, in der die 3 Bäume sich in der gegebenen Reihenfolge an die Spitzenstellung emporarbeiten, wenigstens in der Ebene, während im Gebirge die Tanne ihre beiden Partnerinnen wesentlich übertrifft, und daß die Fichte erst in den Schlußphasen zu einem wesentlichen Bestandteil des Waldbildes wird. In all diesen Dingen geben sich die geographischen Eigentümlichkeiten des Areals mit dessen Sonderbedingtheit zu erkennen.

Pollenanalytische Studien in der Schweiz. Nachdem sich früher schon KELLER pollenanalytischen Studien in der Schweiz zugewandt hat (s. Ref. in dieser Zeitschr. 15, 547), bereichert nunmehr FURRER unsere Kenntnisse in dieser Hinsicht um ein gutes Stück (Vierteljahresschr. d. naturforsch. Ges. in Zürich 72. 1927). Wertvoll ist vor allem, daß der Rahmen der Arbeit weit gezogen ist, so daß auch die verschiedenen Höhenlagen der Schweiz zum Wort kommen. Auf das Schweizer Mittelland beziehen sich die Analysen des Moores am Katzensee bei Zürich (443 m). In den tiefsten Torfproben haben wir bloß Pollen von Kiefer (74%) und Birke (26%). Wir stehen in der noch kühlen Kieferperiode, die den Auftakt in der Baumbesiedlung des Geländes nach dem Rückgang des Eises bildet. Als erste Zuzügler meldet sich in den höheren Proben zunächst die Hasel, dann der Eichenmischwald mit Linde, Ulme und Eiche. Unter ständigem Sinken von Kiefer und Birke arbeiten sich nun Hasel und Eichenmischwald gleichzeitig an die Spitzenstellung empor, wobei die Hasel 122%, der Eichenmischwald 51% aller Pollenkörner erreicht[1]. Erst in diesem Stadium stellen sich Tanne, Buche, Hainbuche und Erle ein, noch später meldet sich als letzter Baum die Fichte. Mit dem Absinken des Eichenmischwaldes übernimmt zuerst die Buche (43%) die Führung, wird dann von der Tanne eingeholt und steigt noch einmal auf 50% empor, um gegen den Profilkopf endgültig abzusinken. Zwischen dem ersten und dem zweiten Buchengipfel ist auch die Erle an die Spitzenstellung herangerückt (28%). Die mittleren Teile des Profils stehen also unter dem Zeichen des Gegeneinanderspielens von Buche, Erle und Tanne. Nach oben hin aber hat sich die Situation nach der Richtung verändert, daß nunmehr die Kiefer einen zweiten Anstieg zeigt, der sie bis zu 48% emporführt. In all diesen Dingen besteht eine weitgehende Ähnlichkeit mit den Diagrammen des badischen Bodenseegebietes, nur daß sich die Fichte beim Katzensee dauernd in der Tiefe hält, während sie am Bodensee zu oberst mit der Kiefer zusammen die Führung übernimmt. Insgesamt können wir folgende Waldphasen feststellen: 1. Kieferperiode, 2. Hasel-Eichenmischwaldperiode, 3. Buchen-Tannen-Erlenperiode, wie man es zusammenfassend nennen kann, und 4. sekundärer Kieferanstieg.

Wenden wir uns nun dem Schweizer Jura, und zwar speziell dem Berner Jura in Höhenlagen von ca. 1000 bis 1100 m zu, dann wäre darüber folgendes zu sagen: auch hier beginnt die Waldfolge mit Kiefer; Hasel sowie Eichenmischwald folgen nach. Während aber die Vertreter des Eichenmischwaldes nur spärlich erscheinen, erreicht die Hasel selbst in dieser Höhenlage noch 133%. Im weiteren Verlauf ergibt sich die auffällige Tatsache, daß hier in der höheren Bergregion die Tanne der Buche innerhalb des Profils ganz wesentlich voraneilt und daß sie beträchtlichere Prozentwerte erreicht, bei La Chaux d'Abel (1010 m) 82%, bei Les Pontins (1105 m) 77%. Aber auch die Buche gelangt zu beträchtlichen Leistungen, wogegen sich die Erle auffallend zurückhält, so daß man hier nur von einer Tannen-Buchenphase reden kann. Im Gegensatz zum Katzensee steigt nun zuletzt auch die Fichte zu höheren Werten (bis 33%) empor und die Kiefer erhebt sich zu ihrem zweiten Gipfel. Zur Abrundung des Bildes sei hinzugefügt, daß fast gleichzeitig SPINNER über entsprechende Untersuchungen vom Jura bei Neuchâtel berichtet (Ber. d. dtsch. botan. Ges. 45. 1927) und zu einem ganz ähnlichen Bild gelangt. Insbesondere geht auch hier die Tanne der Buche voran, ein Zug, den der Schweizer Jura mit den höheren Lagen des Schwarzwaldes teilt.

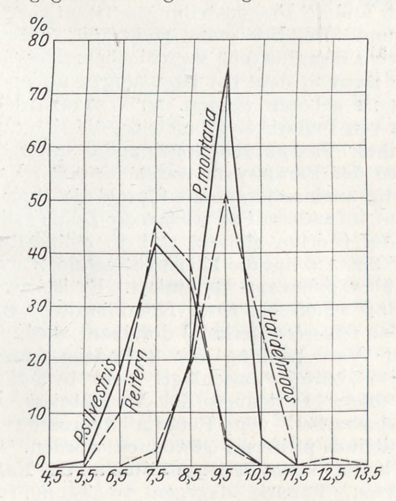
Schließlich wurde von FURRER noch die Voralpenregion (Tannenboden, 1400 m, Kanton St. Gallen) in den Kreis der Betrachtung gezogen. Auch hier bildet die Kiefer den Auftakt, aber im weiteren Verlauf hält sich diesmal mit dem Eichenmischwald auch die Hasel zurück, ein Verhalten, in dem die ungünstigeren Temperaturverhältnisse zum Ausdruck gelangen. Ihnen ist es auch zuzuschreiben, daß die Erle das ganze Profil hindurch nur minimal vertreten ist, daß die Buche es maximal nur auf 11% bringt und daß nunmehr die Fichte der Tanne ebenbürtig geworden ist. Hinsichtlich des gegenseitigen Verhaltens dieser beiden Bäume ist zu sagen, daß die Tanne vor der Fichte ihren Gipfel mit 43% erklimmt, zu einer Zeit freilich, wo sich die Fichte schon auf 48% erhoben hat. Nunmehr aber geht die Entwicklung der beiden Bäume auseinander: die Tanne, die merklich hinter ihren Leistungen im Jura zurückbleibt, zeigt weiterhin fallende, die Fichte dagegen steigende Tendenz, so daß das Verhältnis schließlich 2 : 1 ist (59% Fichte : 30% Tanne).

Fassen wir zusammen, so können wir feststellen, einmal, daß sich auch in der Vorgeschichte der Schweizer Wälder die Differenzen zwischen den verschiedenen Höhenstufen deutlich abzeichnen, derart, daß man eine Facies der niederen Region, der Montanstufe und der Voralpen gegeneinander abgrenzen kann, und daß auf der anderen Seite sehr nahe Beziehungen zu den entsprechenden Zonen des benachbarten Baden bestehen. Das sind Feststellungen, aus denen sich wieder mit Deutlichkeit die Brauchbarkeit der Pollenanalyse für pflanzengeographische Fragestellungen ergibt. Man wird mit Spannung auf entsprechende Untersuchungen in Frankreich warten dürfen.

Über die Diagnose von Kieferpollen in postglazialen Ablagerungen. Pollen der Gattung Pinus findet sich als sehr charakteristischer und manchmal tonangebender Bestandteil in den verschiedensten postglazialen Ablagerungen besonders in den ersten Entwicklungsetappen beim Zurückweichen des Eises, so daß sich mit Deutlichkeit eine besondere Kieferphase abzeichnet, die den Aufmarsch der Bäume eröffnet, wenn keine besondere Birkenzeit vorgeschaltet ist. Es ist natürlich von großem Interesse, zu wissen, ob es sich dabei um die Waldkiefer oder um die Bergkiefer handelt, da die beiden Bäume recht verschiedene Lebensansprüche machen und speziell die Bergkiefer viele Gebiete, die sie während des Glaziales inne hatte, in der Gegenwart geräumt hat. Nun ist ja der Pollen der Bergkiefer

[1] Im Gegensatz zu FURRER sind den allgemeinen Gepflogenheiten entsprechend die Haselprozente besonders berechnet.

von jenem der Waldkiefer durch Form und Größe unterschieden, da aber in beiden Fällen transgredierende Variabilität besteht, so läßt sich nicht jedes einzelne Korn der einen oder der anderen Art zuweisen. So können bei der Diagnose nur variationsstatistische Methoden weiterhelfen und es ergibt sich die Aufgabe, bei einem Moorprofil von Horizont zu Horizont, möglichst viel Pollenkörner zu messen und Mittelwert und Kurvenverlauf zu bestimmen. Diese Untersuchungen sind von STARK für die badischen Bodenseemoore durchgeführt (Ber. d. dtsch. botan. Ges. 45. 1927). Um die notwendige Unterlage zu gewinnen, wurden zunächst entsprechende Messungen an lebenden Standardexemplaren von beiden Kieferarten durchgeführt. Für die Waldkiefer ergab sich, daß die Pollengröße zwischen 32,4 μ und 68,4 μ schwankt und daß der Kurvengipfel auf 54 μ liegt. Als Mittelwert ergab sich für 2 Vergleichsexemplare 55,7 μ bzw. 53,7 μ, also 2 sehr nahe beieinander liegende Werte. Bei dem Standardexemplar von P. montana, die im Durchschnitt größere Pollenkörner besitzt, schwankten die Einzelwerte zwischen 54 μ und 75,6 μ und der Kurvengipfel lag bei 68,4 μ. Es ergab sich ein Mittelwert von 67,3 μ, der den für die Waldkiefer gefundenen Betrag erheblich übertrifft. Die entsprechenden Kurven sind in der beigegebenen Figur festgehalten. Auf der Ordi-



nate ist der Prozentsatz der Pollenkörner jeder Klasse verzeichnet, auf der Abszisse die Pollengröße, wobei hinzuzufügen ist, daß die Zahlen von 4,5—13,5 die Skalenwerte der Mikrometerskala bedeuten und daß ein Skalenteilstrich 7,2 μ entspricht. Durch Multiplikation mit 7,2 erhält man also die Korngröße in μ. Der Einfachheit halber, und da es nur auf die relativen Werte ankommt, wurde von einer Umrechnung abgesehen. Es wurden nun in größtem Umfange derartige Messungen bei dem aus den verschiedenen Moorhorizonten gewonnenen Material unbekannte Herkunft angestellt, und es ergab sich die sehr auffällige Erscheinung, daß die aus tieferen Horizonten erhaltenen Kurven (Haidelmoos, s. Figur!) mehr minder weitgehend mit der Standardkurve von P. montana übereinstimmen, daß in den höheren, also jüngeren Schichten reine P. silvestris-Kurven herausspringen (Reitern, s. Figur) und daß in den dazwischenliegenden Horizonten Kurven auftreten, die eine mittlere Lage einnehmen. Daraus können wir schließen, daß offenbar zu Beginn der Postglazialzeit entsprechend den noch kühleren Temperaturlagen die Bergkiefer das Landschaftsbild beherrschte und daß sie dann schrittweise mit der Zunahme der Temperatur das Feld geräumt hat und durch die gewöhnliche Waldkiefer ersetzt wurde. Daß bei der Kurve des Haidelmooses vereinzelt Pollenwerte auftreten, die noch über der Grenze der Standardkurve der Bergkiefer liegen, das kann mit Vorbehalt dahin gedeutet werden, daß hier vielleicht noch eine dritte Kieferart beigemischt war, nämlich P. cembra, die Arve, deren Mittelwerte noch höher sind als jene der Bergkiefer. Unsere Annahme über das Vorhandensein der Bergkiefer findet eine Stütze in einem Zapfen f und von BERTSCH im benachbarten Württemberg, der mit Sicherheit der Bergkiefer zugewiesen werden konnte. Die Bedeutung dieser Befunde liegt darin, daß sie uns instand setzen, durch variationsstatistische Messungen eine Vorstellung zu gewinnen von der Beteiligung der beiden Kiefernarten an der Zusammensetzung des Waldes in den verschiedenen Etappen der Postglazialzeit, und dies in Horizonten, bei denen als einzige bestimmbare Reste die Pollenkörner erhalten geblieben sind.

Untersuchungen über die Reduktionsteilung und Geschlechtsbestimmung bei Lebermoosen. Die Lebermoose waren die ersten Objekte, bei denen innerhalb des Pflanzenreichs das Vorhandensein von *Geschlechtschromosomen* nachgewiesen wurde. Während sich aber die neuere Forschung dieser Frage bei den höheren Pflanzen in ausgedehntem Maße und mit überraschendem Erfolg bemächtigt hat, sind die auf die Lebermoose bezüglichen Angaben von ALLENS fast vereinzelt geblieben. Hier setzen neuere Untersuchungen von G. LORBEER ein, dem es geglückt ist, bei einer Reihe von weiteren Lebermoosformen einen Geschlechtschromosomenmechanismus nachzuweisen (Zeitschr. f. indukt. Abstammungs- u. Vererbungslehre 44, 1. 1927). Es sind dies mit Einschluß der beiden schon zuvor bekannt gewordenen Fälle Sphaerocarpus Donnellii, S. texanus, S. terrestris, Riella helicophylla, Pellia Fabbroniana und P. Neeseana. Bei den beiden ersten Gattungen liegen Verhältnisse vor, die sich dem *Lygaeustypus* im Tierreich anreihen lassen insofern, als die Weibchen dieser diözischen Moose ein großes X-, die Männchen ein kleines Y-Chromosom besitzen. Dieser Lygaeustypus ist auch bei vielen höheren Pflanzen vertreten. Eine wesentliche Differenz zwischen Lebermoosen und höheren Pflanzen besteht aber darin, daß bei diesen Männchen und Weibchen dem *diploiden* Sporophyten, bei den Lebermoosen dagegen dem *haploiden* Gametophyten entsprechen. Im einzelenn liegen bei Sphaerocarpus und Riella die Dinge so, daß die weiblichen und die männlichen Individuen in ihren Kernen je sieben gewöhnliche Chromosomen („Autosomen") besitzen, wozu noch im weiblichen Geschlecht ein X-, beim männlichen ein Y-Chromosom hinzutritt. Der aus der Befruchtung hervorgehende Sporophyt weist in seinen nunmehr diploiden Kernen 14 gewöhnliche und 2 voneinander deutlich verschiedene Geschlechtschromosomen auf. Bei der Sporenbildung findet die Reduktion des diploiden Chromosomenbestands statt, und es resultieren Sporentetraden, die zur Hälfte Sporen mit männlichem, zur Hälfte solche mit weiblichem Chromosomensatz aufweisen. Deswegen gehen, wie durch zahlreiche Zählungen ermittelt wurde, aus einer Sporentetrade zwei männliche und zwei weibliche Pflanzen hervor. Männliche und weibliche Pflanzen unterscheiden sich nicht bloß hinsichtlich ihrer Geschlechtsorgane, sondern auch dadurch, daß die Weibchen kräftiger sind und schneller wachsen. Möglicherweise liegt das daran, daß sie mehr Chromosomensubstanz enthalten (Kernplasmarelation!). Etwas aus

diesem Rahmen fallen die beiden Pelliaarten heraus. Hier zeigen die Männchen 7, die Weibchen dagegen 9 Chromosomen. Dieses Verhalten findet darin seine Erklärung, daß bei der Reduktionsteilung ein ganzes Chromosomenpaar nach dem einen Teilungspol wandert, so daß ein Teil der Gameten 2 Chromosomen mehr erhält als der andere. Dafür schlägt LORBEER folgende einleuchtende Erklärung vor: Die beiden sich besonders verhaltenden Chromosome entsprechen den Geschlechtsbestimmern, und zwar wären sie als die X-Chromosomen anzusprechen; zu einer Differenzierung zwischen Y- und X-Chromosomen ist es hier noch nicht gekommen. Mutmaßlich ist das X-Chromosom nur der Sitz für die *Realisatoren* der weiblichen Geschlechtsanlagen, während die Gene für diese Anlagen in den übrigen Chromosomen gesucht werden können. Nur bei dem Vorhandensein der Realisatoren werden die weiblichen Anlagen ausgelöst, wo sie fehlen, gelangen die männlichen Anlagen zum Durchbruch, während sie sonst im latenten Zustand verharren. Da auch zur Auslösung der männlichen Charaktere das Vorhandensein besonderer Realisatoren angenommen werden darf, so muß man annehmen, daß sie beim gleichzeitigen Vorhandensein von weiblichen Realisatoren in ihrer Wirkung gehemmt werden. Diese Auslegung findet eine Stütze in der Tatsache, daß eine dritte Pelliaart vorliegt, die *monözisch* ist, also nur eine Art von Gametophyten bildet, die 8 Chromosomen aufweisen. Offenbar handelt es sich hier um den Ausgangszustand. Der aus der Befruchtung hervorgehende Sporophyt besitzt natürlich wieder 16 Chromosomen im Kernbestand, wie jener der beiden anderen Pelliaarten, aber hier werden bei der Bildung der Pollentetraden alle Chromosomen gleichmäßig verteilt, es entsteht also nur eine Sorte von Sporen und damit nur eine Sorte von Gametophyten. Diese Gametophyten enthalten in ihren Kernen 7 gewöhnliche Chromosomen und ein X-Chromosom; es werden weibliche *und* männliche Geschlechtsorgane gebildet. Bei den anderen Pelliaarten besitzen die weiblichen Gametophyten 7 Autosomen + *zwei* X-Chromosomen, und es treten nur weibliche Geschlechtsorgane auf. Das heißt aber: eine Dosis X-Chromosom oder eine Dosis von weiblichen Realisatoren genügt nicht, um die Ausbildung männlicher Charaktere hintanzuhalten, und es herrscht Gleichgewicht. Durch die Verlagerung der *beiden* X-Chromosome in nur eine Hälfte der Gameten bei Pellia Fabbroniana und P. Neeseana wurde aber in der phylogenetischen Weiterentwicklung erreicht, daß sich 50% der Gametophyten zu Männchen, 50% zu Weibchen differenzieren. Also:

7 Autosomen + 1 X-Chromosom → ♀ } (ursprüngl. Zustand),
7 Autosomen + 2 X-Chromosomen → ♀ }
7 Autosomen + 0 X-Chromosom → ♂ } (sekund. Zustand).

Die hier gegebene Ableitung läßt sich sehr leicht mit den Vorstellungen von GOLDSCHMIDT in Einklang bringen.

Vererbungsversuche an Moosen. Im weiteren Verfolg seiner in dieser Zeitschrift besprochenen Vererbungsversuche über Moose ist F. v. WETTSTEIN wieder zu recht bemerkenswerten neuen Ergebnissen gelangt (Nachr. d. Ges. d. Wiss. zu Göttingen 1926). Als wichtigstes Resultat sei hervorgehoben, daß in einwandfreier Weise der Nachweis erbracht werden konnte, daß auch das Plasma erbliche Einflüsse auf die F_1-Generation ausübt. Das zeigt sich mit Deutlichkeit daraus, daß reziproke Kreuzungen, die mit Vertretern der Gattungen Funaria, Physcomitrium und Physcomitrella ausgeführt wurden, zu einem verschiedenen Ergebnis führten. Da die Chromosomensätze in diesem Fall dieselben sind, so kann diese Verschiedenheit nur auf eine Plasmawirkung zurückgehen, die sich darin äußert, daß die Pflanzen mutterähnlich — „matroklin“ — werden. Wie man nun die Summe der im Kern vorhandenen Erbmasse als Genom bezeichnet, so schlägt v. WETTSTEIN für den plasmatischen Anteil der Erbmasse den Namen Plasmon vor. Je nach der Konstellation wirkt das Plasmon fördernd oder hemmend auf die vom Kern ausgelösten Entwicklungstendenzen. Mit der vielfach verwendeten Versuchstechnik kann man nun Moospflanzen mit verdreifachter, vervierfachter usw. Chromosomenzahl, d. h. mit 3 oder 4 oder mehr Genomen züchten. Liegen nun die Verhältnisse derart, daß sich im arteigenen Plasma überzählige Chromosomensätze vorfinden, dann wirkt das nach der bekannten Kernplasmarelation dahin, daß die Zellgrößen freilich bloß bis zu einer gewissen Grenze — gesteigert werden. Handelt es sich dabei aber um artfremde Genome, die durch entsprechende Kreuzung in das Plasma einer anderen Spezies verpflanzt worden sind, dann wird diese Erscheinung um so mehr sistiert, je weiter die kombinierten Formen systematisch auseinanderliegen: das nicht zugehörige Plasmon wirkt retardierend. Durch eine Kombination verschiedenartiger Genome lassen sich aber auch andere Fragenstellungen beantworten. Im Vordergrund des Interesses steht die gegenseitige quantitative Beeinflussung verschiedenartiger Genome, wenn sie nicht in dem bei Kreuzungen üblichen Verhältnis 1 : 1 geboten werden. v. WETTSTEIN kreuzte 2 Rassen von Funaria hygrometrica, die sich durch die Gestalt ihrer Paraphysen voneinander unterschieden. Die Zellen der Paraphysen waren im einen Fall perlschnurartig aneinandergereiht (durch die Kugelgestalt der Zellen), im anderen Fall stießen die Zellen zylindrisch aufeinander (Forma globosa und F. cylindrica). Ein normaler Bastard hat die Konstitution glo × cy, wobei globosa über cylindrica dominiert. Es ist nun interessant, daß schon bei einer Kombination von 1 glo × 2 cy das *rezessive* Merkmal dominant wird, daß also bei einer Verdoppelung des cylindrica-Anteils das Dominanzverhältnis umschlägt. Sehr bemerkenswert sind in dieser Beziehung die Verhältnisse, die bei Gattungsbastarden von Funaria hygrometrica und Physcomitrium piriforme gewonnen wurden. Physcomitrium besitzt keine Peristomzähne an der Kapsel des Sporophyten, Funaria dagegen 16 Zähne, die aus ca. 20 übereinandergereihten Platten gebildet werden. Es wurden Kreuzungen hergestellt, bei denen die beiden maßgebenden Chromosomensätze in der verschiedensten Weise miteinander kombiniert wurden. Die Zahl der gleichartigen Chromosomensätze ist in der folgenden Übersicht durch den Zahlenindex zum Ausdruck gebracht. $PhFu^2$ bedeutet also 1 Chromosomensatz von Physcomitrium, 2 Chromosomensätze von Funaria:

Kombination	Ph	Ph^3Fu	Ph^2Fu	PhFu	$PhFu^2$	$PhFu^3$	Fu^3
Plattenzahl der Peristomzähne	—	—	—	2—3	5—6	10—12	± 20

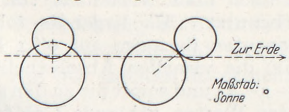
Aus der Übersicht ist zu ersehen, daß bei dominierendem Physcomitrium die Peristomzähne ausbleiben, daß aber bei einer Verschiebung des Gleichgewichts zugunsten von Funaria Zähne auftreten, die zunächst nur wenige Platten aufweisen, sich aber bei einer Verstärkung des Funariaanteils mehr und mehr den für Funaria bezeichnenden Verhältnissen nähern. Die Bedeutung der geschilderten Versuche liegt darin, daß sich hier ein Weg eröffnet, das Gegeneinanderwirken

verschiedener Genome und Plasmone quantitativ zu verfolgen.

Erbliche Beeinflussung von Kressepflanzen durch Einwirkung von Kochsalz. Es wurde früher an dieser Stelle auf Versuche von LESAGE hingewiesen, die zum Ergebnis hatten, daß Kressepflanzen, wenn sie unter bestimmten Kulturbedingungen mit Kochsalzlösung begossen werden, sehr charakteristische Frühreifeerscheinungen zeigen. Besonders bemerkenswert war, daß dieses Verhalten mehrere Generationen erhalten bleibt, wenn man die Nachkommen solch vorbehandelter Versuchspflanzen unter normalen Bedingungen kultiviert. In einer neuen Mitteilung bringt nun LESAGE (Rev. gén. de bot. **38**. 1926) Beobachtungstatsachen, die darauf hinweisen, daß die Kochsalzwirkung noch viel weitere Kreise zieht. Nicht nur die Zeit der Samenreife, sondern auch die morphologische Beschaffenheit der Samen wird weitgehend verändert und auch diese Verschiebung hat sich durch mehrere Generationen hindurch als konstant erwiesen: „Les grains de ces. 4 générations non salées, issues de plantes salées jusqu'en 1919, 1923, 1924, réunies dans coupelles séparées et comparées aux grains des temoins, paraissent plus courtes, plus arrondies, plus dodues et plusieurs donnent l'impression d'être soufflées. Une section transversale, vers le milieu, est ovoïde, presque circulaire, l'ensemble est souvent comparable a un ellipsoïde de revolution et parfois l'axe se racourcit jusqu' à se rapprocher d'une forme presque sphéroidale. Dans les temoins, la section transversale est triangulaire avec angles légèrement arrondis; l'ensemble est plutôt anguleux." Zu diesen Abweichungen im Samenbau gesellen sich solche des Sproßsystems hinzu: „la tige se ramifie abondamment et presque dès la base, donnant des rameaux longs, grêles et portant des fruits très écartés les unes des autres, tandis que la tige des temoins jamais salés n'est ramifiée que vers sa partie supérieure avec des rameaux plus courts, plus trapus et des fruits serrés les unes contre les autres." Sollten sich diese Angaben weiterhin bestätigen, dann würden sie, worauf schon früher hingewiesen wurde, einen wichtigen Beitrag liefern zur Frage der Vererbung erworbener Eigenschaften, wobei es sich freilich um Merkmale handelt, die nicht in durchsichtiger Weise als Anpassungscharaktere gedeutet werden können. Auch Ausblicke für das Halophytenproblem könnten hier gewonnen werden. STARK.

Astronomische Mitteilungen.

Ein sehr bemerkenswertes Sternsystem. Im Sternbild der Cassiopeia, bei AR = $0^h 12^m.5$ und $\delta = 50°53'$ (Aequ. 1900), findet sich ein Sternchen von der Helligkeit $6^m.12$, dem freien Auge kaum noch sichtbar. Dieser Stern, Nr. 1337 im Henry Draper-Katalog, den Astronomen aus der bisherigen Literatur unter der Bezeichnung Boss 46 geläufiger, vereinigt in sich eine ganze Anzahl besonderer *Eigenschaften:* Das Spektroskop ordnet ihn in die Klasse der recht seltenen O-Sterne ein; periodische Linienverschiebungen, die es ferner noch aufzeigt, erweisen ihn als ein Doppelsternsystem; das Photometer deckt geringe aber regelmäßige Helligkeitsschwankungen auf, die ihn als Bedeckungsveränderlichen charakterisieren; die Rechnung schließlich kombiniert die spektroskopischen und die photometrischen Elemente und zeigt, daß die Massen dieses Sternsystems zu den größten zählen, die wir überhaupt kennen. Zwei Riesensonnen, deren jede unsere Sonne an Masse um mehr als das 30-fache übertrifft, umkreisen einander in etwa $3^1/_2$ Tagen, in einem so geringen Abstande jedoch — und auch dies ist ein bisher vereinzelt dastehender Fall —, daß ihre Oberflächen dabei in ständiger Berührung bleiben (vgl. Fig.). Alle anderen absoluten



Der Doppelstern Boss 46.

Daten werden ebenfalls ermittelt und eröffnen wichtige Ausblicke, sind doch die einzelnen Sternindividuen, die wir nur annähernd so gründlich kennenlernen wie Boss 46, von großer Seltenheit. Denn auch wenn man alle überhaupt erreichbaren Fälle mit sowohl spektroskopischen als auch photometrischen oder visuellen Beobachtungen verwertet, ergibt sich heute nur die spärliche Liste von 41 Sternen. (Vgl. diese in Tabelle 45 einer demnächst in den Veröffentlichungen der Sternwarte zu Berlin-Babelsberg, Bd. V_6, unter dem Titel „Zur Charakterisierung der spektroskopischen Doppelsterne" erscheinenden Arbeit des Referenten.)

Die Grundlage der hier zu besprechenden, durch den kanadischen Astrophysiker J. A. PEARCE durchgeführten sehr eingehenden Untersuchung[1] bilden 34 Spektrogramme. Diese wurden in der Zeit vom 5. August 1924 bis zum 19. August 1925 erhalten, und zwar mit dem Einprismen-Spektrographen des 72-zölligen Reflektors des Dominion Astrophysical Observatory in Victoria. Drei Platten wurden von PEARCE dazu benutzt, um den genauen *Spektraltypus*, nach dem von H. H. PLASKETT ausgearbeiteten Verfahren, aus der relativen Linienintensität quantitativ abzuleiten. Es ergab sich: O 8.5 n, wobei n die diffuse Linienbeschaffenheit kennzeichnen soll. Bemerkt sei, daß der Stern von früheren Beobachtern ein fortgeschritteneres Spektrum zugeschrieben erhielt, so von den älteren Harvardbeobachtern sogar einen A-Typus, im Draperkatalog Bo, in Yerkes B2 und am Mt. Wilson B3. Jetzt ist jedoch der O-Charakter unzweifelhaft gesichert. Die H- und K-Linien des ionisierten Calciums verdienen wie bei vielen Sternen dieser frühen Typen besonderes Interesse, sie sind schmal und scharf und unabhängig von den bei den übrigen Spektrallinien vorhandenen periodischen Verschiebungen.

Die *spektroskopische Bahn* wurde in der üblichen Weise ermittelt. Zugezogen wurden nur jene 26 Platten, auf denen sich die Linien beider Komponenten zeigten, außerdem noch zur genauen Bestimmung der Periode weitere 12 Aufnahmen des Mount Wilson-Observatoriums, welche bereits während der Jahre 1914—16 gewonnen wurden. Die Periode P findet so PEARCE zu 3.52341 Tagen und für die anderen Bahnelemente nach der Ausgleichung provisorischer Werte folgende endgültige Daten: Exzentrizität (e) 0.037, Abstand des Periastrons vom aufsteigenden Knoten (ω) 210° und die Schwerpunktsgeschwindigkeit des Systems (γ) — 29.3 km/sec. Die halben Amplituden der Geschwindigkeitsschwankungen ergaben sich für die hellere Komponente (K_1) zu 218.4 km/sec, für die

[1] J. A. PEARCE, The absolute dimensions of the O-type eclipsing variable H.D. 1337. (Publications of the Dominion Astrophysical Observatory, Victoria B. C., Vol. III, Nr. 13.)

schwächere Komponente (K_2) zu 234.6 km/sec. Angemerkt seien die geringen mittleren Fehler dieser beiden letzten Werte ± 1.8 bzw. ± 2.1 km; im übrigen beträgt im Mittel für eine Einzelbeobachtung der Fehler ± 7.0 bzw. ± 8.2 km. Als abgeleitete Größen ergeben sich für die Summe der halben großen Bahnachsen ($a_1 + a_2$) sowie für die beiden Massen m_1 und m_2 (zunächst noch behaftet mit den unbestimmten Neigungsfaktoren sin i bzw. $\sin^3 i$) die Werte: 21,935.000 km, d. i. 31.5 Sonnenradien sowie 17.6 und 16.4 Sonnenmassen.

Nun stand seit dem Jahre 1919 unser Stern auch unter *photometrischer* Beobachtung; periodische Helligkeitsschwankungen mit etwa 0.20 Größenklassen als Amplitude zeigten sich. Die Messungen erfolgten durch P. GUTHNICK auf der Sternwarte zu Berlin-Babelsberg mittels der lichtelektrischen Zelle als der genauesten heute verfügbaren Meßmethode. Über die Ergebnisse ist berichtet in den Astronomischen Nachrichten Nr. 5061 und Nr. 5156 sowie in den Atti delle Pontificia Accademia delle Scienze Nuovi Lincei in Rom, 76, Nr. VI. 1923. Leider waren PEARCE nur die beiden ersteren Quellen zugänglich, so daß ihm als photometrische Grundlage seiner Untersuchungen nur die Beobachtungen aus der Zeit vom 10. September 1919 bis 1. März 1920 dienen konnten. GUTHNICKS Lichtkurve wird von PEARCE unter der hier notwendig gewordenen Zuhilfenahme seiner spektroskopischen Beobachtungen (insbesondere der relativen Intensität der beiden Spektren) gedeutet. Unter der Auffassung eines Bedeckungslichtwechsels vom β-Lyrae-Charakter wird, nach Berücksichtigung eines Periastroneffektes (gegenseitige Zustrahlung u. a.) und der Elliptizität der Komponenten die Ableitung der photometrischen Bahnelemente durchgeführt. Die Rechnungen erfolgten unter der Annahme, daß beide Sterne uns als gleichmäßig erleuchtete Scheiben erscheinen; nach MILNES neueren Untersuchungen kommt auch bei so hochtemperierten Sternen eine Randverdunkelung kaum in Betracht. Der hellere Stern, auf den 74 % der Gesamthelligkeit des Systems entfällt, erweist sich als der größere, er zeigt einen Halbmesser von 0.594, der schwächere einen von 0.386 ihres gegenseitigen Abstandes. Die gute Übereinstimmung der photometrischen mit den spektroskopischen Ergebnissen wird im übrigen noch durch eine unabhängige Berechnung der Größen $e \cos \omega$ und $e \sin \omega$ aus beiden Elementensätzen nachgewiesen, welche für den helleren Stern die Werte — 0.038 und — 0.0185 bzw. — 0.032 und — 0.0185 liefert. Auch die Werte für die Abplattung ε und für die Bahnneigung i werden nach den Verfahren von RUSSELL und von ROBERTS auf unabhängigem Wege verifiziert. Von besonderer Bedeutung erscheint hier der Wert von i, der mit 51°.8 die kleinste bisher bei Bedeckungsveränderlichen feststellbar gewesene Bahnneigung darstellt. Das Gesamtbild, das die angeführten und die übrigen photometrischen Daten entwerfen, zeigt zwei ellipsoidische Körper, die sich praktisch genommen berühren und dabei eine nur wenig von einer Kreisbahn abweichende Bewegung umeinander vollführen, in einer Ebene, die etwa 38° gegen die Visierlinie des Erdbeobachters geneigt ist.

Es verbleibt nur noch die eingangs erwähnte *Kombination* beider Elementensätze, um das Sternsystem in allen seinen physikalischen Eigenschaften zu kennzeichnen. Zunächst ergibt sich der Abstand der Mittelpunkte beider Körper zu 27,918.000 km, d. h. 40.1 ± 0.6 Sonnenhalbmesser. Für die beiden Komponenten I und II getrennt wird sodann (alles in den entsprechenden Sonneneinheiten):

	I	II
Masse	36.3	33.8
Halbmesser	23.8	15.5
Oberfläche	566.4	240.2
Volumen	13480.	3723.
Dichte	0.0027	0.0091

Wie bereits erwähnt, gehört die *Gesamtmasse* des Systems von 70.1 Sonnenmassen zu den größten bekannten Werten. Von Sternen mit beiden sichtbaren Komponenten wird sie nur noch von HD 47129 übertroffen, dem sog. PLASKETTschen Massenstern BD + 6°1309, von mindestens 139 Sonnenmassen; vgl. hierzu auch das Referat in den „Naturwissenschaften" 11, 209. 1923. Für das System υ Sagittarii wurde auf Grund von Miß MAURYS Angaben von LUDENDORFF die noch größere Masse von 314 Sonnenmassen vermutet (Sitzungsber. d. Akad. Berlin 1924, S. 67); spätere amerikanische Beobachtungen erwiesen jedoch die spektralen Verhältnisse noch zu verwickelt, um bereits jetzt zuverlässige Schlüsse auf die Massengrößen ziehen zu können. Bei Sternen mit nur einem sichtbaren Spektrum tritt in die dort nur zu ermittelnde „Massenfunktion" noch das unbestimmte Verhältnis der Komponentenmassen ein. Jedenfalls dürften auch noch die Sterne 29 Canis majoris, ν Geminorum, u Sagittarii u. a. mit unserem Sternsystem vergleichbare Massen besitzen. In jedem Falle liegt aber die besondere Bedeutung der PEARCEschen Untersuchung in den Einblicken, die sie in den Aufbau der so vielfach interessanten O-Sterne eröffnet. Ein mittlerer Massenwert von 40—50 Sonnenmassen für diese Sternklasse erscheint heute gesichert. Besonders wichtig ist im vorliegenden Falle die durch den Bedeckungslichtwechsel ermöglichte Dichtebestimmung von O-Sternen. PEARCE überprüft in dieser Hinsicht nochmals seine Betrachtungen und findet sodann durch statistischen Vergleich für die O-Sterne mittlere Dichtegrenzen von etwa 0.005 bis 0.05 Sonnendichte.

Einige Worte noch über die *Entfernung* unseres Sternsystems und seine absolute Helligkeit. Diese Größen wurden von PEARCE strahlungstheoretisch abgeleitet. Dazu wurde als Temperatur dieses O 8.5-Sternes nach FOWLER und MILNE 28000° C angesetzt und die bolometrischen absoluten Helligkeiten dann für beide Komponenten über HERTZSPRUNGS Formel für die Oberflächenhelligkeit gerechnet. Zur Kontrolle wurden auch noch Verfahren von EDDINGTON und SEARES benutzt. Als Ergebnis folgen für die beiden Komponenten (bezogen auf 0″.1 Parallaxe als Einheitsdistanz) die visuellen Absoluthelligkeiten von — $5^m.95$ und — $4^m.84$ und somit die zu den größten überhaupt bekannten Werten zählende Gesamtleuchtkraft des Systems $M = -6^m.3$. Hieraus errechnet sich mit der scheinbaren Helligkeit $m = 6^m.12$ aus der Formel: $M = m + 5 + 5 \log p$ die Parallaxe p zu 0″.00032. Diese Angabe läßt durch Kombination mit der beobachteten Eigenbewegung und der Radialgeschwindigkeit (des Schwerpunktes) auch die absolute Raumgeschwindigkeit berechnen; es ergibt sich der hohe Wert von 146 km in der Sekunde. Im übrigen entspricht die angeführte Parallaxe einer Entfernung des Systems von etwa 3200 Parsec oder etwa 10000 Lichtjahren.

ARTHUR BEER.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9 — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.